Forschungszentrum Karlsruhe
Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 6626

Nachhaltiges Planen, Bauen und Wohnen im Informationszeitalter

G. Bretthauer, S. Dietze, K.-H. Häfele, J. Isele, J. Jäkel

Institut für Angewandte Informatik

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
2001

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie widmet sich der Thematik des nachhaltigen Planens, Bauens und Wohnens im Informationszeitalter. Der Fokus liegt dabei, entsprechend der Aufgabengebiete und Kompetenzfelder des IAI, auf dem Beitrag der Informations- und Automatisierungstechnik. Die Studie basiert auf umfangreichen Recherchen, den Erfahrungen der Autoren und ersten Vorversuchen. Ihr Anliegen ist es, nach der Analyse des Entwicklungsstandes und der Entwicklungstrends Schlussfolgerungen für eigene F&E-Vorhaben zu ziehen.

Die allgemeinen Rahmenbedingungen für zukünftiges „Bauen und Wohnen" werden insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit präsentiert. Wichtige Fragestellungen innerhalb der sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Dimension eines nachhaltigen „Bauens und Wohnens" werden im Rahmen dieser Studie allerdings nur angerissen.

Die Analyse des Entwicklungsstands und der Entwicklungstendenzen konzentriert sich auf drei Bereiche, den Einsatz der Informationstechnologie insbesondere in der Planungs- und Entwurfsphase, der automatisierten Fertigung und der Hausautomatisierung. Generell kann festgestellt werden, dass der verstärkte Einsatz der Informations- und Automatisierungstechnik im Bereich „Bauen und Wohnen" ein großes Innovationspotenzial birgt. Wichtige Tendenzen sind im Bereich Planung die Entwicklung von Standards für Produktdatenmodelle und die Nutzung von digitalen Gebäudemodellen in allen Lebenszyklusphasen. Im Bereich der Fertigung ist eine Orientierung auf die Verwendung vorgefertigter Baukomponenten, die von automatisierten Fertigungsanlagen produziert werden können, festzustellen. Der Bereich der Hausautomatisierung zeichnet sich durch eine besonders dynamische Entwicklung aus. Schwerpunkte sind hier die informationstechnische Integration aller technischen Geräte im Haus und die Entwicklung neuer Dienstleistungen und Funktionalitäten auf dieser Basis.

Ausgehend von der Einschätzung des Entwicklungsstandes werden F&E-Aktivitäten vorgeschlagen, deren Rahmen die Vision des FZK-Hauses bildet. Dazu gehören Untersuchungen und Entwicklungen zu einem Produktdatenmodell für das FZK-Haus, einer Fabrik für die automatisierte Vorfertigung von Wandelementen, Komponenten für Gebäudeplanungs- und Entwurfswerkzeuge, dem Informationsaustausch zwischen Planung und Fertigung, der Integration der Hausautomatisierung in das Produktdatenmodell, Benutzerschnittstellen und Benutzeradaption des SmartHomes.

Abschließend werden Möglichkeiten der Integration mit F&E-Vorhaben anderer Institute des Forschungszentrums Karlsruhe sowie potenzielle externe Kooperationspartner erwähnt.

Abstract

Sustainable Design, Construction and Living in the Information Age

The present study addresses the topic of sustainable design, construction and living in the information age. The focus – according to the institute's fields of activity and competence – rests on the contribution of information and automation technology. The study is based on extensive inquiries and brings together the experience of the authors and preliminary investigations results. Its objective is to analyse state of the art technology, trends and to then draw conclusions for our own R&D projects.

The general conditions for future "building and living" are presented under the aspect of sustainability. Admittedly, important problems of the social, economic and ecological dimensions of sustainable "building and living" are only touched within the scope of this study.

The analysis of the state of the art concentrates on three fields, the application of information technology in the design phase, the automated manufacturing and construction and home automation. Generally, it can be stated that information and automation technology bears great potential for innovations in the area of "building and living". Main trends in the field of design include the development of product model standards and the use of digital building models in all phases of the life cycle. In the field of manufacturing an orientation towards utilization of prefabricated building components, which can be produced on automated facilities, is observed. The field of home automation is characterized by very dynamic development. Emphasis lies on the informational integration of all technical appliances in the home and the development of new services and functionality on this basis.

Starting from this analysis our own R&D activities are proposed within a common frame formed by the vision of the FZK house. These activities comprise investigations and development of a product model for the FZK house, for a factory producing prefabricated wall elements, of components for building design tools, for the information exchange between computer-aided design and computer-aided manufacturing, for the integration of home automation systems in the product model, of user interfaces and user adaptation of SmartHomes.

Finally, possibilities of linking-up with R&D projects from other institutes in the Forschungszentrum Karslruhe and potential external partners for cooperation are mentioned.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

3DS	**3D S**tudio (VIZ oder Max) Dateiformat
ACIS	3D Geometric Modeler von Spartial Corporation
ADSL	**A**symmetric **D**igital **S**ubscriber **L**ine
ADT	**A**rchitectural **D**esk**t**op (CAAD-System)
AP	**A**pplication **P**rotocol
API	**A**pplication **P**rogramming **I**nterface
ARUBA	**A**utomatic **R**econstruction of Sub-**U**rban **B**uilding from **A**erial Images
AVA	**A**usschreibung, **V**ergabe, **A**brechnung
BAMTEC	**B**ewehrungs-**A**bbund-**M**aschinen-**Tec**hnologie
BCCM	**B**uilding **C**onstruction **C**ore **M**odel
BKI	**B**au**k**osten**i**nformationszentrum
B-REP	**B**oundary **rep**resentation
BRONCO	**B**ricklaying **R**obot for use **ON** the **CO**nstruction
BTI	**B**ereich **T**echnische **I**nfrastruktur, Forschungszentrum Karlsruhe
CAAD	**C**omputer **A**ided **A**rchitectural **D**esign
CAD	**C**omputer **A**ided **D**esign
CADOOM	**C**omputer **A**ides **D**ynamic **O**bject **O**riented **M**odeler
CAFM	**C**omputer **A**ided **F**acility **M**anagement
CAM	**C**omputer **A**ided **M**anufacturing
CEMA	**C**onsumer **E**lectronics **M**anufacturers **A**ssociation
CIC	**C**omputer **I**ntegrated **C**onstruction
CIM	**C**omputer **I**ntegrated **M**anufacturing
CNC	**C**omputer **N**umerical **C**ontrol
CSG	**C**onstructive **S**olid **G**eometry
CSMA/CA	**C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess/**C**ollision **A**voidance
DCS	**D**ynamic **C**oordinate **S**ystem
DECT	**D**igital **E**nhanced **C**ordless **T**elecommunication
DIN	**D**eutsches **I**nstitut für **N**ormung e.V.
DMAP	**D**ECT **M**ultimedia **A**ccess **P**rofile
DVB	**D**igital **V**ideo-**B**roadband Multimedia Home Platform
DWG	Standarddateiformat zum Abspeichern von Vektorgrafiken in AutoCAD, Dateiformat
DXF	**D**ata **E**xchange **F**ormat, Dateiformat
E&D	**E**lderly and **D**isabled
EDV	**E**lektronische **D**aten**v**erarbeitung
EHS	**E**uropean **H**ome **S**ystems
EIB	**E**uropean **I**nstallation **B**us
EMV	**E**lektro**m**agnetische **V**erträglichkeit
ENGDAT	**Eng**ineering **Dat**a Message
ENX	**E**uropean **N**etwork **E**xchange
ETSI-BRAN	**E**uropean **T**elecommunications **S**tandards **I**nstitute
EVU	**E**nergie**v**ersorgungs**u**nternehmen
F&E	**F**orschung & **E**ntwicklung
FEM	**F**inite **E**lemente **M**ethode
FM	**F**acility **M**anagement
FZK	**F**orschungs**z**entrum **K**arlsruhe
GAEB	**G**emeinsamer **A**usschuß **E**lektronik im **B**auwesen
GEFMA	**Ge**rman **F**acility **M**anagement **A**ssociation
HAVi	**H**ome **A**udio-**V**ideo **i**nteroperability architecture
HMI	**H**uman **M**achine **I**nterface
HOAI	**H**onorar**o**rdnung für **A**rchitekten und **I**ngenieure
HPE	**H**auptabteilung **P**rozessdatenverarbeitung und **E**lektronik, Forschungszentrum Karlsruhe
HTML	**H**yper**t**ext **M**arkup **L**anguage
HVAC	**H**eating, **V**entilation, **A**ir **C**onditioning
IAI	**I**nstitut für **A**ngewandte **I**nformatik, Forschungszentrum Karlsruhe
IAI	**I**nternational **A**lliance for **I**nteroperability
IAO	Fraunhofer **I**nstitut für **A**rbeitswirtschaft und **O**rganisation
IEC	**I**nternational **E**ngineering **C**onsortium
IEEE	**I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronic **E**ngineers

IFC	**I**ndustry **F**oundation **C**lasses
IFIA	**I**nstitut **f**ür **I**nstrumentelle **A**nalytik, Forschungszentrum Karlsruhe
IFIB	**I**nstitut **f**ür **I**ndustrielle **B**auproduktion, Fakultät Architektur, Universität Karlsruhe
IGES	**I**nitial **G**raphics **E**xchange **S**pecification, Dateiformat
IMS	**I**ntelligent-**M**anufacturing-**S**ystems-Programs
IMT	**I**nstitut für **M**ikrostruktur**t**echnik, Forschungszentrum Karlsruhe
INT	**I**nstitut für **N**ano**t**echnologie, Forschungszentrum Karlsruhe
IP	**I**nternet **P**rotokol
ISDN	**I**ntegrated **S**ervice **D**igital **N**etwork
ISO	**I**nternational **S**tandardisation **O**rganisation
ITAS	**I**nstitut für **T**echnikfolgen**a**bschätzung und **S**ystemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe
ITC-WGT	**I**nstitut für **T**echnische **C**hemie, Bereich **W**asser und **G**eo**t**echnologie, Forschungszentrum Karlsruhe
LAN	**L**okal **A**rea **N**etwork
LCN	**L**ocal **C**arrier **N**etwork
LoD	**L**evel **o**f **D**etail
LON	**L**ocal **O**perating **N**etwork
MHP	**M**ultimedia **H**ome **P**latform
MP 3 / MP 4	**MP**EG Audio Layer 3 und 4
MPEG	**M**otion **P**ictures **E**xpert **G**roup
MSR	**M**essen, **S**teuern, **R**egeln
NIST	**N**ational **I**nstitute of **S**tandards and **T**echnology
O2C	Open Office Connection (**O**bject **to** **S**ee), Dateiformat
OBEX	**Ob**ject **Ex**change Protocol
OMG	**O**bject **M**anagement **G**roup
OSGi	**O**pen **S**ervices **G**ateway **I**nitiative
PDM	**P**roduct **D**ata **M**odel
PDM	**P**rodukt**d**aten**m**anagement
PnP	**P**lug & **P**lay
POF	**P**lastic **O**ptical **F**iber
PPP	**P**oint to **P**oint **P**rotocol
SDK	**S**oftware **D**eveloper **K**it
SOHO	**S**mall **O**ffice / **H**ome **O**ffice
SPX	**Sp**hin**x** Dateiformat
SQL	**S**tructured **Q**uery **L**anguage
STEP	**St**andard of the **E**xchange of **P**roduct Model Data, Dateiformat
STL	**S**tereoli**t**hography **L**anguage, **S**tandard **T**ransformation **L**anguage, Dateiformat
STLB	**St**andard **L**eistungs**b**uch
TCP/IP	**T**ransmission **C**ontrol **P**rotocol over **I**nternet **P**rotocol
TGA	**T**echnische **G**ebäude**a**usrüstung
UDP	**U**ser **D**atagram **P**rotocol
UMTS	**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem
UPnP	**U**niversal **P**lug & **P**lay
URL	**U**niform **R**esource **L**ocator
USB	**U**niversal **S**erial **B**us
VDE	**V**erein **d**er **E**lektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
VDI	**V**erein **D**eutscher **I**ngenieure e. V.
VOB	**V**erdingungs**o**rdnung für **B**auleistungen
VR	**V**irtual **R**eality
VRML	**V**irtual **R**eality **M**eta **L**anguage, Dateiformat
VTT	Technical Research Centre of Finland
W3C	**W**orld **W**ide **W**eb **C**onsortium
WAP	**W**ireless **A**pplication **P**rotocol
XML	E**x**tensible **M**arkup **L**anguage

1 Einleitung

Wohnen ist ein menschliches Grundbedürfnis. Darüber hinaus scheint das Bauen sehr tief in der menschlichen Natur verankert zu sein. Das eigene Haus ist oft ein wesentlicher Ausdruck unserer Individualität. Wenn auch nicht jeder Mensch ein Haus baut oder bauen lässt, so bewohnt er oder sie doch zumindest ein Haus bzw. eine Wohnung. Daher ist jeder von den Entwicklungen im Bereich „Bauen und Wohnen“ berührt und in einem gewissen Maße Experte mit ausgeprägten Meinungen. Für jeden stellt sich die Frage „Wie werde ich in 10 oder 20 Jahren wohnen?“. Die Diskussionen zu dieser Thematik werden daher häufig auch sehr emotional geführt.

Auch auf der gesellschaftlichen Ebene ist die Thematik „Bauen und Wohnen“ von grundlegender Bedeutung. Ein kultureller, technischer und wirtschaftlicher Fortschritt ist ohne das Bauen - die Gestaltung unserer Umwelt - nicht denkbar. Der Wohnungsbau insbesondere ist eng mit sozialen Fragen verknüpft, prägt ganz wesentlich das Gesicht unserer Städte und Gemeinden und ist ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Zugleich wirkt das „Bauen und Wohnen“ in einen starkem Maße auf unsere natürliche Umwelt zurück. Hier stellt sich die Frage, welche Innovationen in diesem Bereich für eine nachhaltige Entwicklung notwendig sind.

Der Einsatz der Informations-, Kommunikations- und Automatisierungstechnik hat in vielen Wirtschaftzweigen für einen starken Innovationsschub gesorgt. Der Bauwirtschaft wird häufig nachgesagt, dass sie auf den überkommenen Produktionsmethoden verharrt. *„Beim Anblick einer heutigen Baustelle glaubt man nicht, sich im Zeitalter des Weltraumflugs zu befinden“* [HOR98]. Es fragt sich, ob dies nur ein Vorurteil ist. Darüber hinaus ist zu fragen, welchen Beitrag die Informations-, Kommunikations- und Automatisierungstechnik im Bereich „Bauen und Wohnen“ für individuelles Wohnen leisten kann, das sich kostengünstig realisieren lässt, ohne die natürlichen Ressourcen übermäßig zu beanspruchen.

Die vorliegende Studie widmet sich diesen Fragen. Ihr Ziel besteht darin, ausgehend von der Analyse des Ist-Zustandes F&E-Vorhaben vorzuschlagen, die sich schwerpunktmäßig mit der Entwicklung der Informations- und Automatisierungstechnik auf den Feldern Entwurf und Planung, Fertigung und Hausautomatisierung befassen sollen. Den gemeinsamen Rahmen dieser Arbeiten bildet die Vision vom FZK-Haus, ein individuelles Architektenhaus, das mit innovativen Methoden geplant und gefertigt wird und mit innovativer Technik ausgestattet ist.

Dazu werden zuerst die Rahmenbedingungen für Innovationen im Bereich „Bauen und Wohnen“ skizziert, wobei der Schwerpunkt auf dem Aspekt der Nachhaltigkeit in ihrer sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Dimension liegt. Als Orientierungsgrundlage dient der Lebenszyklus eines Gebäudes von der Planung bis zur Entsorgung. Über diesen entwickelt sich nicht nur das reale Gebäude, sondern zukünftig auch sein informationstechnisches Abbild, das Gebäudemodell.

Im Hauptteil der Studie werden zunächst die Ergebnisse von Recherchen zum Stand der Technik und den Entwicklungstendenzen in Teilbereichen zusammenfassend dargestellt und bewertet. Die hier näher betrachteten Teilbereiche sind die ersten Phasen im Gebäudelebenszyklus: Entwurf und Planung, Fertigung und Nutzung.

Darauf bauen die anschließend vorgestellten möglichen F&E-Vorhaben auf, die auf einen Zeitraum von zehn Jahren angelegt sind. Die Kompetenz des Instituts für Angewandte Informatik und seiner Kooperationspartner innerhalb und außerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe soll für innovative Beiträge auf den genannten Feldern genutzt werden mit dem Ziel, eine neue Planungs-, Bau- und Wohnkultur in Deutschland zu fördern. Diese wird u. a. durch ausgezeichnete technische Qualität, Orientierung an den menschlichen Wünschen und Bedürfnissen, Ressourceneffizienz und Umweltverträglichkeit gekennzeichnet sein.

Die Konzentration auf Aktivitäten in den ersten Phasen des Gebäudelebenszyklus bedeutet nicht, dass Informations- und Automatisierungstechnik beispielsweise bei Umbau und Sanierung oder Recycling und Entsorgung keinen Beitrag leisten könnten. Auch auf diesen Feldern liegen Innovationspotenziale, die sich mit kompetenten Kooperationspartnern nutzen ließen.

2 Rahmenbedingungen

2.1 Lebenszyklus

Der Lebenszyklus eines Gebäudes umfasst den Planungs- und Bauprozess, die Nutzung und Instandhaltung, den Umbau und die Sanierung sowie den Rückbau, die Entsorgung und das Recycling (s. Abb. 2.1).

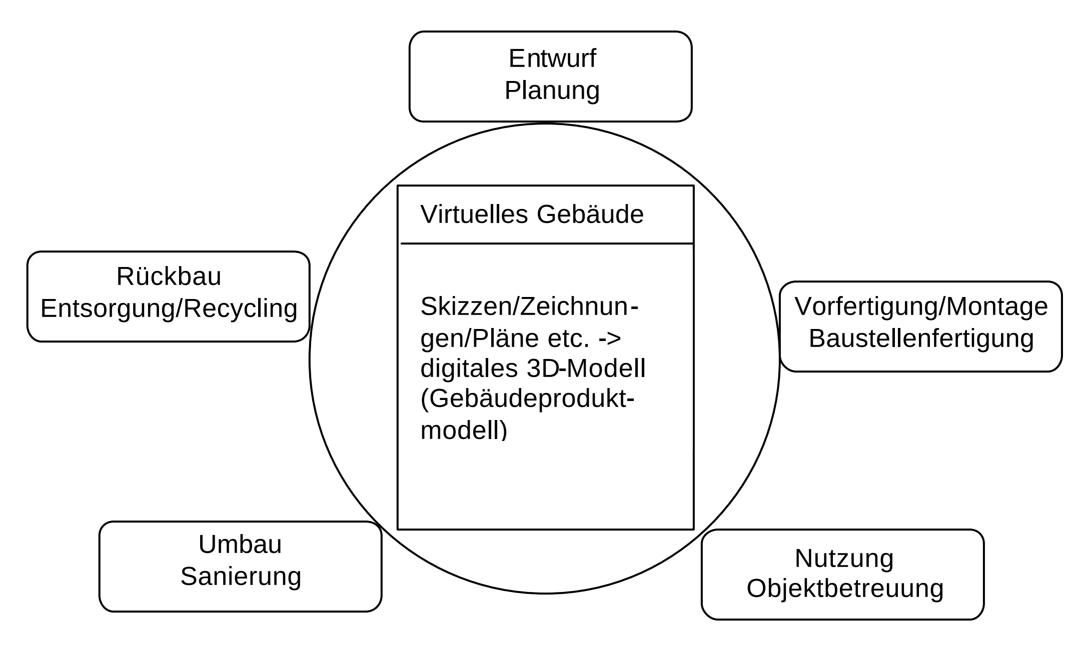


Abb. 2.1: Gebäudelebenszyklus

Die **Planungsphase** unterteilt sich in Vorplanung, Entwurfsplanung und Ausführungsplanung. In der Vorplanung wird ein Bauvorhaben spezifiziert, die Machbarkeit untersucht und eine Kostenschätzung vorgenommen, auf deren Grundlage eine Entscheidung über das Bauvorhaben getroffen wird. Die Entwurfsplanung dient dem grundsätzlichen Entwurf des zu bauenden Gebäudes, wozu neben dem Architektenentwurf auch die Fachplanung (z. B. Statik, Wärmeschutz) gehört. Im Ergebnis liegen alle für den Bauantrag notwendigen Dokumente vor. Die Ausführungsplanung erstellt die Unterlagen, die zur Durchführung des Bauvorhabens und zur Ausschreibung der zu erbringenden Leistungen notwendig sind, z. B. die Werkpläne, Detailzeichnungen und Sonderzeichnungen, Schalpläne, Bewehrungs- und Rohbauzeichnungen, Fertigteil- und Verlegezeichnungen.

Im Laufe des Planungsprozesses entstehen Dokumente in verschiedener Form (Zeichnungen, Pläne, Listen in Papierform, 3D-CAD-Modell usw.). Gegenwärtig existieren diese Dokumente relativ unabhängig voneinander. Informationen werden zumeist mehrfach erhoben und abgebildet (z. B. durch die verschiedenen Fachplaner). Es bestehen daher häufig Konsistenzprobleme in den Unterlagen. Die informationellen Beziehungen zwischen den am Planungsprozess Beteiligten und zwischen der Planung und der Fertigung werden gegenwärtig durch informationstechnische Werkzeuge nur in geringem Umfang abgebildet und unterstützt.

Der Planungsphase schließt sich nach Erteilung der Baugenehmigung und dem Abschluss der Ausführungsplanung die **Bauausführung** an. Dabei kann zwischen der Vorfertigung und den auf der Baustelle auszuführenden Arbeiten unterschieden werden. Während in der Vorfertigung Baukomponenten mit industriellen Methoden hergestellt werden, überwiegt auf der Baustelle gegenwärtig eine nach Gewerken gegliederte handwerkliche Arbeitsweise. Daher weist die Vorfertigung bereits einen hohen Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrad auf. Die Arbeiten auf der Baustelle werden durch Baumaschinen zwar unterstützt, aber der Anteil körperlich schwerer und gesundheitsgefährdender Tätigkeiten ist nach wie vor hoch. Gleichfalls genügt die Qualität der Bauausführung zumeist nicht industriellen Maßstäben. Die Orientierung an Gewerken bringt Logistik- und Kommunikationsprobleme mit sich, die häufig in Bauverzögerungen, Abweichungen von der Planung, Qualitätsmängel u. ä. resultieren. Der Ist-Zustand des Gebäudes nach der Errichtung, der i. d. R. vom Soll-Zustand (Planungszustand) abweicht, wird gegenwärtig im Allg. nicht erfasst. Damit ist zumindest für spätere Sanierungs- und Umbauarbeiten ein zu erbringender Aufwand für die Aufnahme des aktuellen Zustands abzusehen.

Über die **Nutzungsphase** fallen zwar Informationen über das Gebäude an. Diese werden aber nur teilweise erfasst und archiviert und sind weiter kaum nutzbar. Die Objektbetreuung und Instandhaltung kann zwar auf die Planungsdokumente und die während der Nutzung erfassten Informationen zugreifen, aber die Konsistenzprobleme und die Soll-Ist-Abweichungen können den Wert dieser Dokumente stark einschränken.

Kommt es am Ende der Lebensdauer des Gebäudes zum **Abbruch**, liegen über verwendete Materialien gegenwärtig zumeist nur unzureichende Informationen vor. Daher ist die Entsorgung oft sehr kostenintensiv, eine Wiederverwertung von Baukomponenten fast ausgeschlossen.

Doch es zeichnet sich bereits ab, dass zukünftig alle relevanten Informationen, die während des Planungsprozesses und in den weiteren Lebenszyklusphasen gewonnen werden, in einem Gebäudeproduktmodell zusammengefasst abgebildet werden. Dieses Produktmodell kann als das virtuelle Gebäude bezeichnet werden. Das virtuelle Gebäude lässt sich visualisieren (z. B. mit VR-Werkzeugen). Simulationen des Gebäudeverhaltens bezüglich bestimmter Eigenschaften (z. B. Simulation der Lichtverhältnisse, des thermischen Verhaltens, des Hausautomatisierungssystems) können damit durchgeführt werden. Auch für die Fertigung lässt sich das Gebäudemodell nutzen. Zum einen können in ihm Fertigungsinformationen abgelegt werden, zum anderen ist der Fertigungs- und Montageverlauf damit plan- und simulierbar. Im Weiteren entstehen während der Nutzung Informationen (z. B. über den Energieverbrauch), die ebenfalls im Gebäudeproduktmodell gespeichert werden sollten. Durch Umbau und Sanierung ändert das Gebäude im Allg. Form, Funktion und Verhalten. Die entsprechenden Informationen im Produktmodell sind dann anzupassen. Schließlich dient das Produktmodell beim Abbruch und der Entsorgung dazu, über Wiederverwertbarkeit von Komponenten, Entsorgungs- bzw. Recyclingverfahren zu entscheiden. Abb. 2.1 soll gleichfalls dieses Ziel, also die informationstechnische Verknüpfung über die Lebenszyklusphasen des Gebäudes und damit der beteiligten Akteure (Bauherr, Planer, Nutzer, Bauausführende usw.) mit Hilfe des Gebäudeproduktmodells (des virtuellen Gebäudes als Modell des realen), verdeutlichen.

2.2 Aspekte der Nachhaltigkeit im Bereich „Bauen und Wohnen“

Mit dem Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung „Unsere gemeinsame Zukunft“ (Brundtland-Bericht, 1987) wurde eine intensive Diskussion um eine nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung ausgelöst. Das im Bericht formulierte Handlungsprinzip - „Nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der Gegenwart ohne die Fähigkeit künftiger Generationen, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen, zu gefährden“ - besitzt eine ökologische, eine ökonomische und eine soziale Dimension.

Die Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ schlägt in ihrem Abschlussbericht [ENQ98] grundlegende Ziele und Regeln für diese Dimensionen der Nachhaltigkeit vor. Für den Bereich „Bauen und Wohnen“, als einem von drei näher betrachteten Beispielbereichen, werden diese konkretisiert [KOH99, BRÄ97].

Innerhalb der ökologischen Dimension liegt der Schwerpunkt auf der Flächennutzung. Darüber hinaus werden die Stoffströme und Problemstoffe thematisiert. Zu den wirtschaftlichen Aspekten gehört die Minderung der individuellen Kosten, die bei der Versorgung mit Wohnraum und die im Zusammenhang mit Wohnen nachgefragten Dienste und Infrastrukturleistungen entstehen. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht geht es insbesondere um die optimale Gestaltung und Nutzung des Bestands an Wohnraum und die Optimierung der Energieversorgung und des -verbrauchs. Als soziale Aspekte werden die an den individuellen Bedürfnissen ausgerichtete Wohnung, die soziale Infrastruktur im Wohnumfeld, die Bedeutung des Wohneigentums für größere individuelle Gestaltungsfreiheit und wirtschaftliche Absicherung sowie die Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen in der Bau- und Wohnungswirtschaft angesprochen.

Als Ergebnis der Diskussion formuliert die Enquête-Kommission drei Strategien,

- die Stärkung städtischer Strukturen gegen Zersiedlung und Suburbanisierung,
- die Konzentration auf den Wohnungsbestand und
- das ressourcensparende „Bauen und Wohnen“,

sowie eine Reihe konkreter Ziele und Instrumente. Es ist davon auszugehen, dass diese Strategien, Ziele und Instrumente den Handlungsrahmen im Bereich „Bauen und Wohnen“ zukünftig wesentlich mitbestimmen werden. Auf die einzelnen Aspekte wird im Folgenden ausführlicher eingegangen.

2.3 Ökologische Rahmenbedingungen

Das Bauen, hierbei meint Bauen alle Aktivitäten im Lebenszyklus von Gebäuden, ist für einen erheblichen Anteil am Energie- und Ressourcenverbrauch verantwortlich. Dies betrifft den Verbrauch an Fläche, Material und Energie und das hohe Deponieaufkommen. So werden in Deutschland gegenwärtig täglich 100 ha Fläche verbaut, 11 t Sand und andere Materialien pro Person und Jahr verbraucht. Das Bauen benötigt nach [GRÜ00] ca. 50 % des Primärenergieverbrauchs und verursacht 42 % des Abfallaufkommen.

Das Ziel nachhaltiges Bauen erfordert Aktionen zur

- Umsetzung des Kreislaufgedankens,
- Minimierung des Energie - und Ressourcenverbrauchs und
- Verringerung von Umweltbelastungen.

Die **Umsetzung des Kreislaufgedankens** zielt auf die Reduzierung der Stoffströme ab, wobei vor allem die Materialentnahme aus der Umwelt reduziert werden soll. Dazu ist der Anteil an wiederverwendbaren Materialien und auch Baukomponenten deutlich zu erhöhen. Das über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes Beiträge geleistet werden können, verdeutlicht Abb. 2.2.

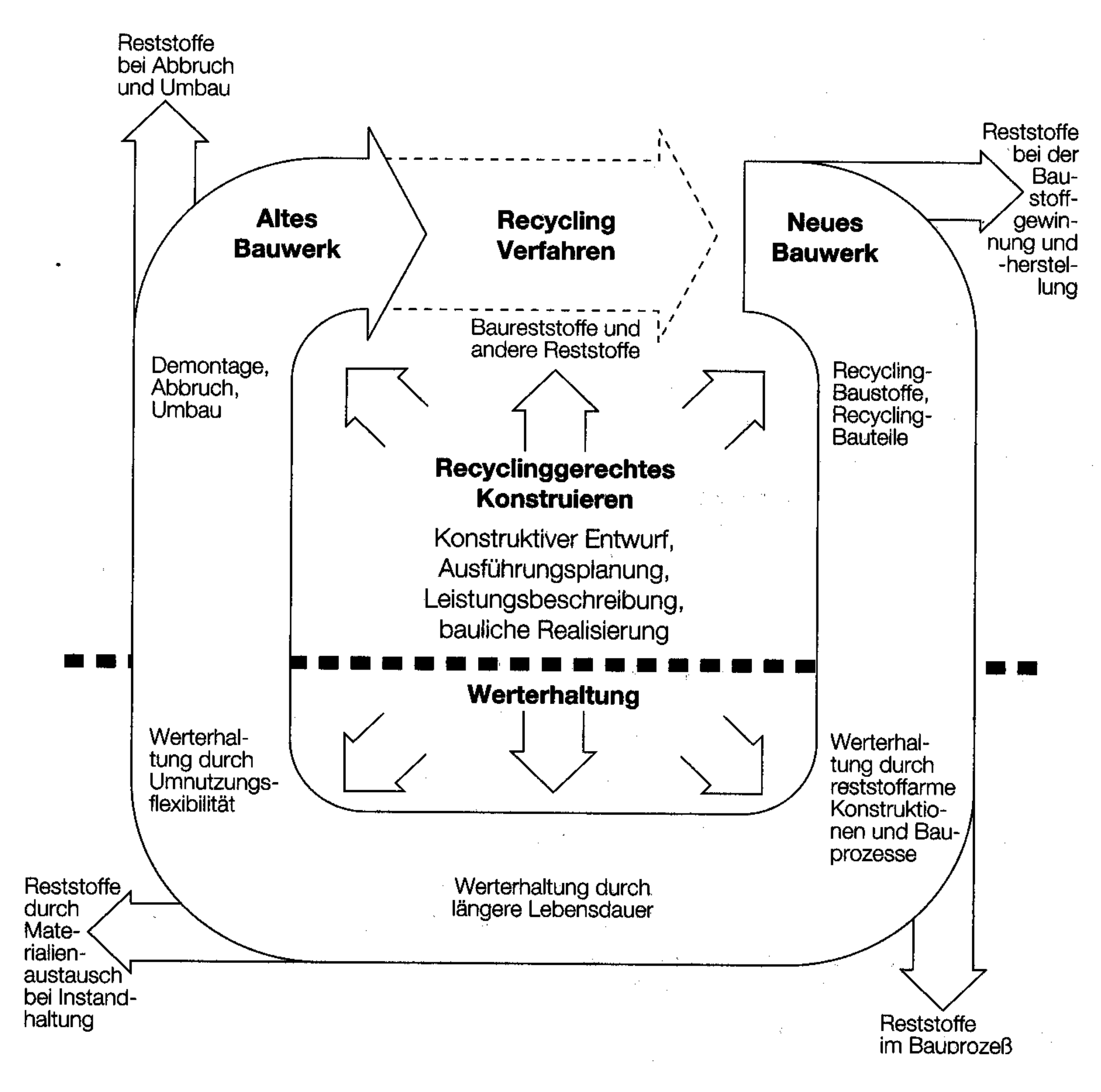


Abb. 2.2: Stoffströme und Lebenszyklus eines Gebäudes (Quelle: [WEB98])

Die **Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs** betrifft die Errichtung von Gebäuden und ihre Nutzung. Dieses Ziel soll durch Maßnahmen wie

- energie- und materialsparende Errichtung von Gebäuden (hoher Vorfertigungsgrad, dezentrale Produktion),

- energiesparendes Bauen (geeignete Materialien und Bauweisen, Wärmedämmung - Niedrigenergiebauweise, Wärmespeicherung, Wärmerückgewinnung aus Abluft und -wasser, kontrollierte Lüftung - s. Abb. 2.3, 2.4, 2.5),
- energiegewinnendes Bauen (Nutzung regenerativer Energien, aktive und passive Sonnenenergienutzung),
- materialsparendes Bauen (Materialverbrauch, Recyclingmaterial, nachwachsende Rohstoffe, Nutzung von Regen- und Grauwasser),
- bodensparendes Bauen (Geschosswohnungsbau, verdichtetes Bauen, Reduzierung versiegelter Fläche, Wiederbenutzung von Brachflächen)

erreicht werden, ohne dass die Funktion der Gebäude und die Bedürfnisbefriedigung der Nutzer beeinträchtigt wird.

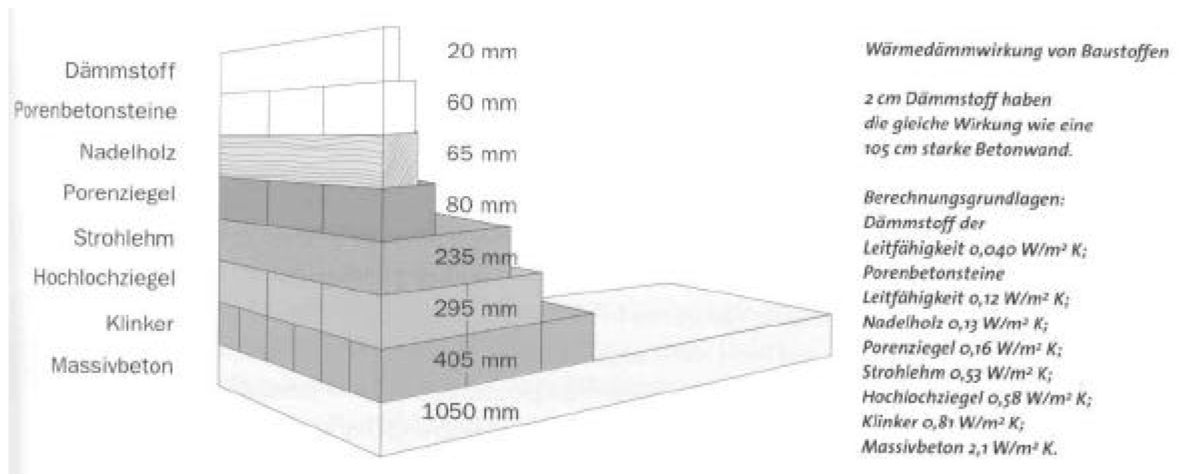


Abb. 2.3: Wärmedämmwirkung unterschiedlicher Baumaterialien (Quelle: [LBS00])

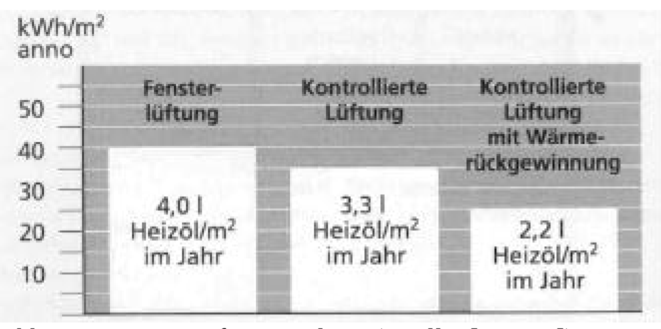


Abb. 2.4: Lüftungsverluste (Quelle: [VER00])



Abb. 2.5: Energieverbrauch im Haushalt (Quelle: [VER96])

Die Umsetzung des Kreislaufgedankens und die Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs führen bereits zur **Verringerung von Umweltbelastungen**. Darüber hinaus ist bei den Inhaltsstoffen von Baumaterialien auf ihr Gefahrenpotenzial für menschliche Gesundheit, Wasser, Luft, Boden und die natürliche Umwelt zu achten. Aktive Maßnahmen bei der Errichtung von Gebäuden sind z. B. die Vorfertigung unter industriellen Bedingungen und die Verringerung der Bauzeiten und bei der Nutzung z. B. die Begrünung von Dächern und Fassaden sowie die naturnahe Freiflächengestaltung.

Einen Beitrag zum nachhaltigen Bauen können alle am Bauen beteiligten Akteure leisten, die Architekten und Fachplaner, die Bauausführenden, die Bauherren und Nutzer. Eine frühzeitige Kommunikation und Koordinierung der Aktivitäten aller am Bauprozess Beteiligten ist auch aus diesem Grunde dringend geboten.

2.4 Gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Aus gesellschaftlicher Sicht wird der Wohnungsbau häufig aus den Gesichtspunkten Versorgung mit Wohnraum, Arbeitsplätze in der Bau- und Wohnungswirtschaft sowie Energie- und Ressourcenverbrauch durch das Wohnen gesehen. Daneben steht die individuelle Sicht der Wohnungseigentümer bzw. -nutzer. Hierbei spielen die sich entwickelnden Bedürfnisse, die Nutzungskosten (Miete bzw. Finanzierungskosten und Betriebskosten), die Absicherung bzw. Zukunftssicherung durch Wohneigentum eine wesentliche Rolle.

Mit der Entwicklung der Lebensstile und der Haushaltstrukturen (s. Abb. 2.6), die durch Individualisierung und Pluralisierung gekennzeichnet ist [KOR97, MÜH99], ergibt sich ein Bedarf an verschiedensten Wohnangeboten. Dabei bleibt weiter ein großer Bedarf an erschwinglichem Wohnraum. Gleichzeitig wächst der Wunsch nach sozialer Vernetzung.

Wohnungen bzw. Häuser müssen verstärkt flexibel sein, um sie den sich ändernden Bedürfnissen (z. B. durch Änderung der Haushaltsgröße und -zusammensetzung) einfach anpassen zu können, mit anderen Worten, sie müssen generationengerecht sein. Flexibilität lässt sich durch sog. Nutzungsflexibilität (Zuschnitt, Größe und Ausstattung der Räume erlaubt verschiedene Nutzungsmöglichkeiten) oder durch gute Umbaubarkeit (Erweiterung, Veränderung der Raumaufteilung, Austausch oder Nachrüstung haustechnischer Einrichtungen mit geringem Aufwand möglich) erzielen. Beides muss in der Planungsphase berücksichtigt werden, wobei nicht nur die Gebäudeplanung angesprochen ist, sondern auch die Städteplanung, da z. B. Grundstücksparzellen ausgewiesen werden müssen, die entsprechende Gebäudetypen zulassen. Ein Beispiel hierfür könnten Grundstücke für Reihenhäuser mit variabler Breite sein.

Der Wandel in der Arbeitswelt (z. B. Telearbeit, wechselnde Beschäftigungssituationen) bekommt zunehmend Einfluss auf die nachgefragten Wohnungsformen (Wohnkosten, räumliche Verhältnisse).

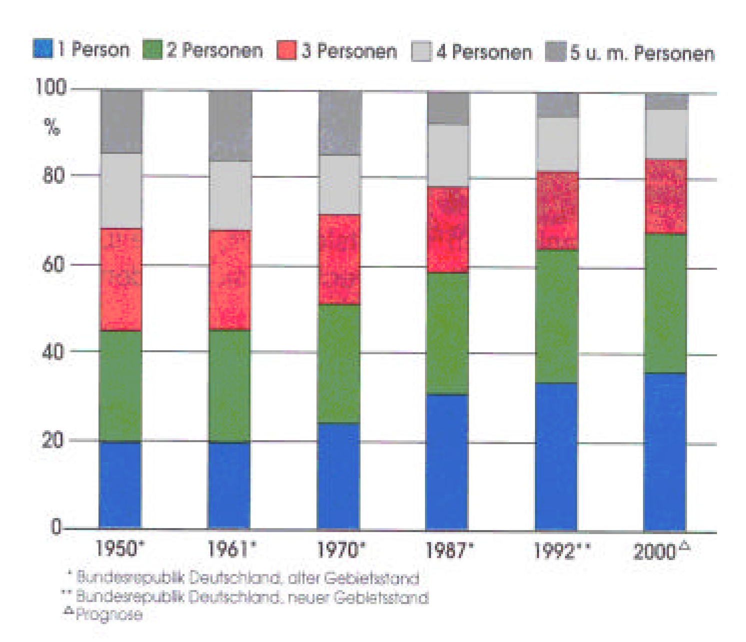


Abb. 2.6: Haushaltsgröße (Quelle: [KOR97, S. 7])

Die Individualisierung der Ansprüche hat zur Abwendung vom industriellen Wohnungsbau der 70er und 80er Jahre und zur Hinwendung zu traditionellen Techniken und Baukonstruktionen (z. B. Lehmbau) geführt. Diese sind aber nicht geeignet, um den gesamten Wohnungsbedarf abzudecken. Somit besteht an den Wohnungsbau die große Herausforderung darin, mit modernen Bautechniken und -konstruktionen individuelle Ansprüche zu vernünftigen Kosten zu befriedigen.

Die Baukosten setzen sich aus verschiedenen Anteilen zusammen (s. Abb. 2.7). Die Höhe der Kosten für die einzelnen Anteile werden von ganz unterschiedlichen Faktoren bestimmt, auf die der Bauherr und die anderen am Bauprozess Beteiligten nur zu einem Teil Einfluss haben. So sind Grundstücks- und Erwerbskosten lokal sehr unterschiedlich (s. Abb. 2.8) und hängen im Wesentlichen vom Angebot an Bauland ab. Dennoch können durch rationalisierte Bauverfahren die Baukosten erheblich gesenkt werden, da die reinen Baukosten immerhin ca. 50 % der Gesamtkosten ausmachen.

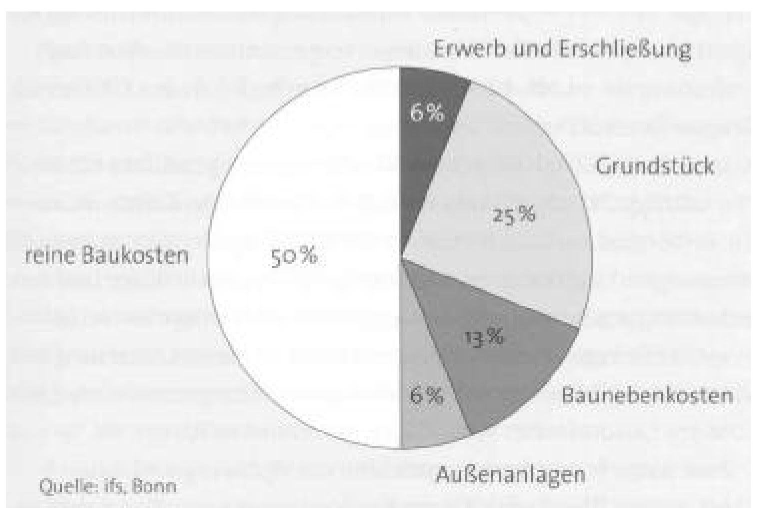


Abb. 2.7: Baukostenanteile (Quelle: [LBS00])

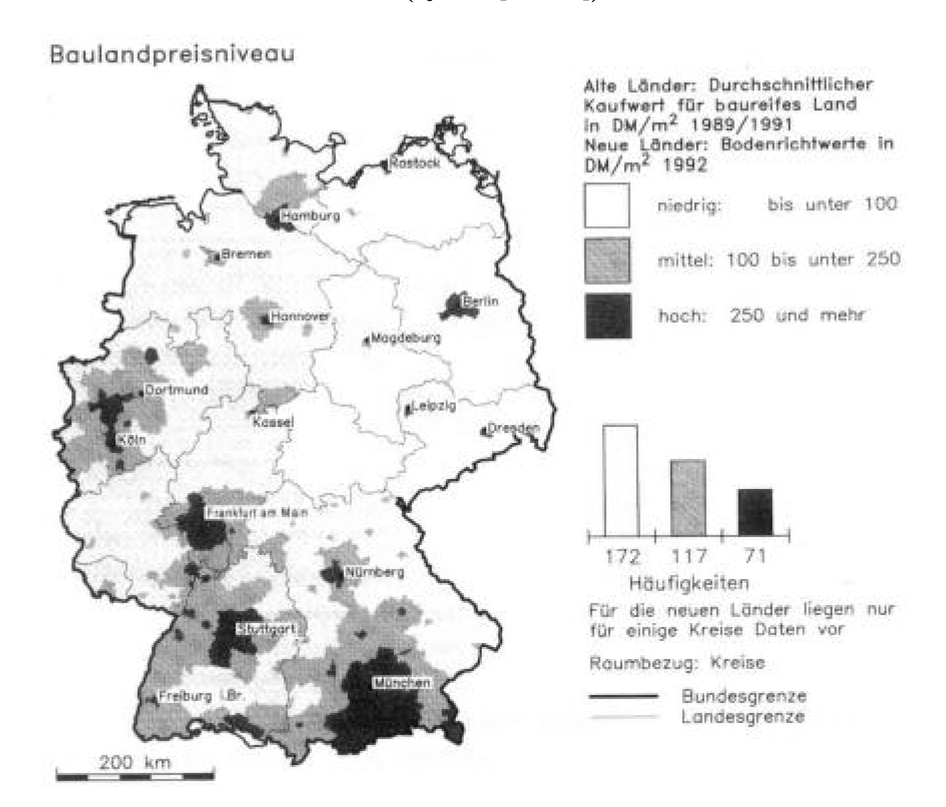


Abb. 2.8: Baulandpreisniveau in Deutschland (Quelle: [KOR97, S.33])

Zugleich soll hier auf den Konflikt zwischen der notwendigen Ausweisung von neuen Bauland und der Forderung nach Verringerung des Flächenverbrauchs hingewiesen werden. Hier bedarf es zukünftig eines neuen raumordnerischen und städtebaulichen Leitbildes, das im Zusammenwirken von Kommunen, Städteplanern und Architekten zu erarbeiten ist.

Wohneigentum gilt nach wie vor als ein Mittel zur individuellen Zukunftssicherung (vgl. Abb. 2.9, 2.10). Demgegenüber steht eine im europäischen Vergleich sehr niedrige Wohneigentumsquote in Deutschland von ca. 38% (vgl. Abb. 2.11). Als Ursache hierfür werden die hohen Baukosten angeführt.

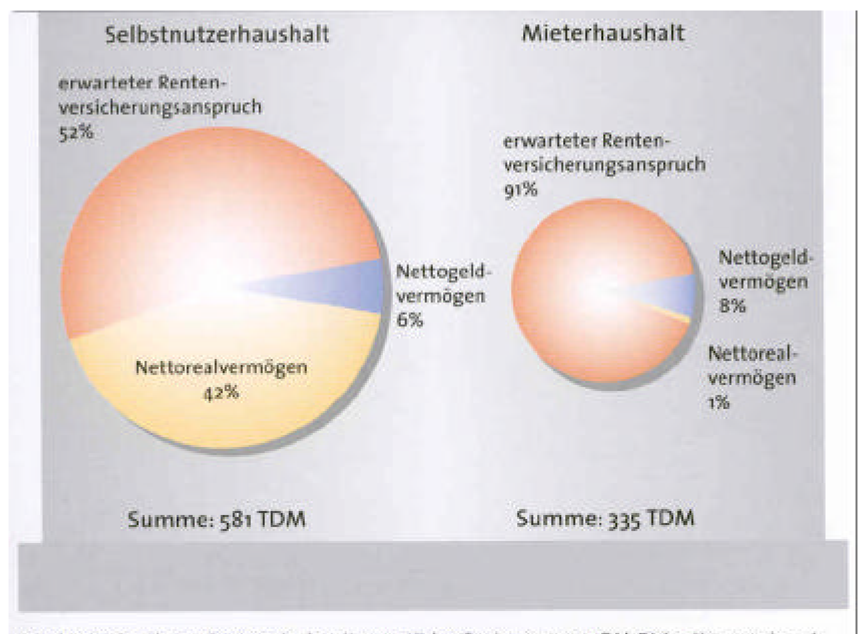


Abb. 2.9: Vermögenszusammensetzung aus privatem und Rentenvermögen (Quelle: [LBS99])

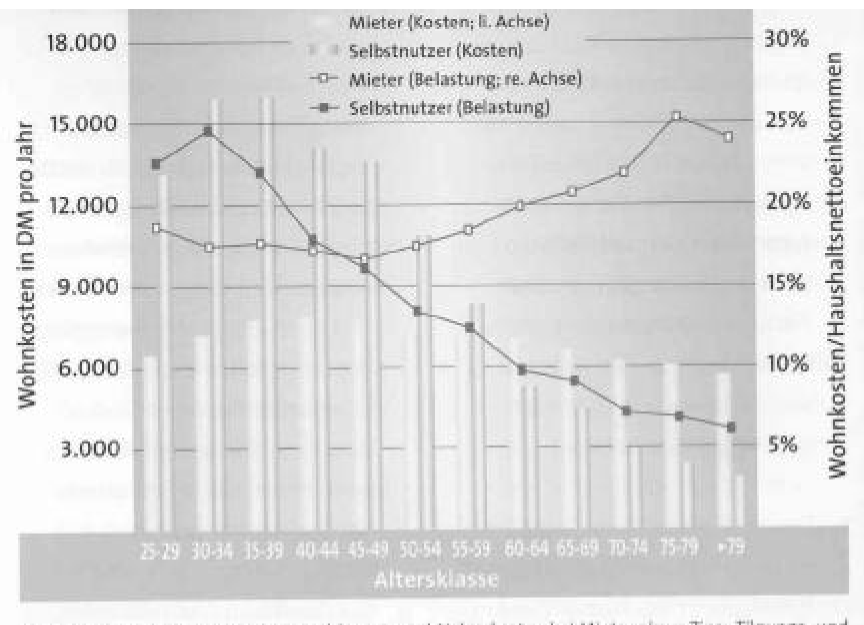


Abb. 2.10: Wohnkosten von Mietern und Selbstnutzern im Altersquerschnitt 1993 (Quelle: [LBS99])

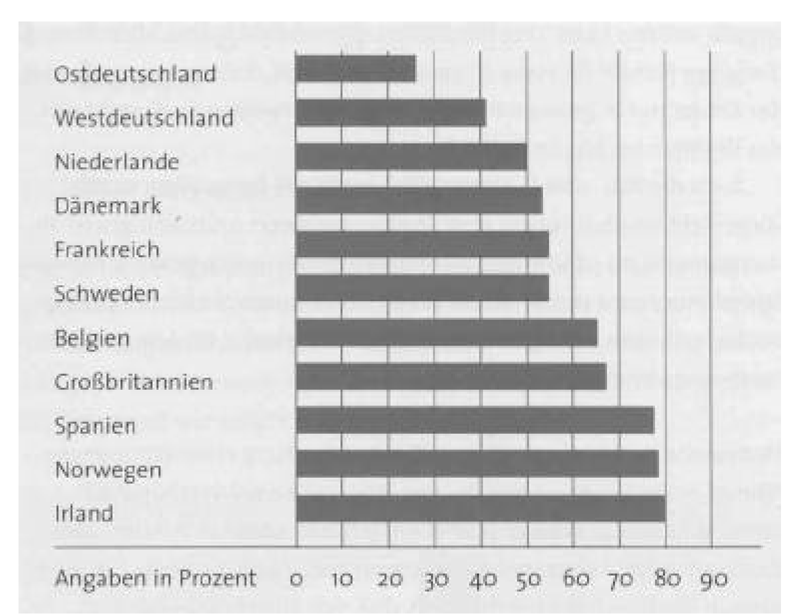


Abb. 2.11: Wohneigentumsquote in westeuropäischen Ländern (Quelle: [LBS00])

Staatlich gefördert wird die Eigentumsbildung besonders bei jungen Familien mit Kindern, von sog. Schwellenhaushalten. Hierbei besteht allerdings auch die Gefahr, dass von solchen Schwellenhaushalten lediglich Immobilien gebaut bzw. erworben werden können, die eine Kompromisslösung darstellen (z. B. das massive Reihenhaus mit minimalem Grundstück). Solche Häuser sind zumeist wenig flexibel und daher an die sich ändernde Haushaltsgröße bzw. -zusammensetzung (Kinder verlassen Familie, Aufnahme zu pflegender Elternteile) kaum anpassbar, was ggf. einen Umzug nach sich ziehen könnte. Langfristig kann es aus diesen Gründen zu einem Wertverlust bei solchen Gebäudetypen kommen, was einer Absicherung über Immobilienbesitz entgegen liefe.

Eine gleiche Wirkung hätte im Übrigen eine deutliche Verringerung der Baukosten, z. B. durch starke Rationalisierung. Daher ist Widerstand der betroffenen Klientel gegenüber Projekten, die primär auf Baukostensenkung abzielen zumindest denkbar. Sinnvollerweise können durch Rationalisierung eingesparte Kosten für die Erhöhung des Gebrauchswerts des Gebäudes (z. B. höherwertige technische Ausstattung wie Hausautomatisierung) bzw. bessere Energieeffizienz (z. B. Wärmedämmung, Nutzung regenerativer Energien) eingesetzt werden.

In Deutschland gibt es einen großen Bestand an Wohnungen, die in den ersten drei Jahrzehnten nach dem 2. Weltkrieg gebaut wurden (s. Abb. 2.12). Für diese Gebäude stellt sich in den nächsten Jahrzehnten die Frage nach Sanierung oder Abriss.



Abb. 2.12: Altersstruktur der Wohngebäude (Quelle: [LBS00])

2.5 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Die Bauwirtschaft ist ein wichtiger Arbeitgeber, wenngleich die Beschäftigtenzahlen seit Jahren rückläufig sind. Unmittelbar auf dem Bau waren 1999 1,1 Millionen Menschen beschäftigt. Hinzu kommen die in der Baustoff- und verarbeitenden Industrie Beschäftigten. Man kann davon ausgehen, dass jeder 13. Arbeitnehmer in diesem Wirtschaftsbereich beschäftigt ist. Zugleich leistet die Bauwirtschaft einen wesentlichen Beitrag zum Brutto-

inlandsprodukt. 1998 betrug die Gesamtbauleistung 421,5 Mrd. DM, davon 307 Mrd. DM in Deutschland-West (9,2 % des West-Bruttoinlandsprodukts) und 114,6 Mrd. DM in Deutschland-Ost (26,7 % des Ost-Bruttoinlandsprodukts).

Trotz Globalisierung und Wettbewerbs innerhalb der Europäischen Union ist die Bauwirtschaft nach wie vor zumeist lokal organisiert. Ursachen sind zum einen ihre Struktur und die Betriebsgrößen (s. Tabelle 2.1), zum anderen, dass die Bauwirtschaft den Wohnungsbau nicht als „handelbares Produkt" ansieht. Demzufolge gibt es keinen Export von Bautechnologie und -leistungen in einem nennenswerten Umfang. Auch ist eine internationale Arbeitsteilung (z. B. F&E in Deutschland, Produktion im Ausland) nicht vorhanden. Internationale Forschungskooperationen finden kaum statt. Eine Internationalisierung findet lediglich auf der Baustelle statt: Ausländische Arbeitnehmer oder Subunternehmen prägen das Bild auf deutschen Baustellen.

Unternehmensstruktur 1998

Unternehmen mit .... Beschäftigten	Zahl der Unternehmen		Beschäftigte in 1.000		Umsatz Mill. DM		Umsatz je Besch. in 1.000 DM	
	West	Ost	West	Ost	West	Ost	West	Ost
1-19	52.558	15.246	314	107	41.678	12.358	133	115
20-99	6.958	3.552	269	139	48.255	19.241	179	138
100-199	615	329	84	44	19.570	7.615	233	173
200-499	217	86	63	24	16.034	5.177	255	216
500 u. mehr	66	13	107	11	38.905	2.727	364	248
Insgesamt	60.414	19.226	837	325	164.442	47.118	196	145

Kostenstruktur 1998 (in % des Bruttoproduktionswertes)[3)]

Kostenart	Deutschland Insgesamt	Unternehmen mit ... Beschäftigten: 20-99	100-199	200-499	500-999	1000 u. mehr
Personalkosten	32,7	37,7	32,8	30,3	28,3	25,1
davon Löhne	17,1	21,7	17,4	15,0	12,6	9,9
Gehälter	7,1	6,3	6,6	7,1	8,1	9,0
Sozialkosten	8,5	9,7	8,8	8,1	7,5	6,2
Materialverbrauch	22,8	28,0	23,2	19,8	22,0	14,1
Nachunternehmerleistung	28,8	16,8	28,6	33,5	35,2	49,1
Abschreibungen	2,5	2,7	2,6	2,8	3,0	1,5

Betriebe und Beschäftigte (Juni)

Merkmal	West 1999	West 1998	West in %	Ost 1999	Ost 1998	Ost in %
Betriebe	59.611	61.283	-2,7	20.949	20.018	4,7
Beschäftigte in 1.000	785	817	-3,9	344	360	-4,4
Beschäftigte je Betrieb	13,2	13,3	-0,8	16,4	18,0	-8,9

Tab. 2.1: Unternehmensstrukturen, Kostenstruktur und Anzahl der Unternehmen und Beschäftigten in der Bauwirtschaft (Quelle: [BAU00])

Der Wohnungsbau und damit die Bauwirtschaft stecken in einer schon fast permanenten Strukturkrise (vgl. Tab. 2.2). Der Vorwurf, dass die deutsche Bauwirtschaft keine Anstrengungen zur Rationalisierung unternimmt, lässt sich jedoch nicht belegen. Allerdings ist Rationalisierung über minderbezahlte Arbeitskräfte, Projekte in einzelnen Teilbereichen bzw. nur in Nischenbereichen (z. B. Holzsystembau) erreicht wurden.

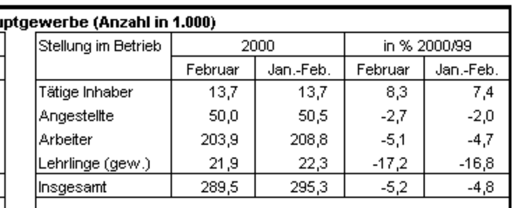
Alte Bundesländer	Neue Bundesländer

Beschäftigte im Bauhauptgewerbe (Anzahl in 1.000)

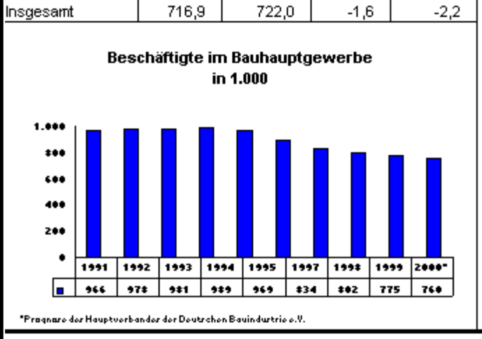
Alte Bundesländer:

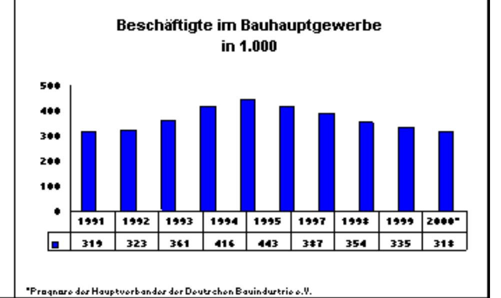
Stellung im Betrieb	2000		in % 2000/99	
	Februar	Jan.-Feb.	Februar	Jan.-Feb.
Tätige Inhaber	42,9	43,1	-4,7	-4,3
Angestellte	143,4	144,0	-3,2	-3,0
Arbeiter	489,5	493,3	-0,6	-1,5
Lehrlinge (gew.)	41,1	41,6	-4,1	-4,5
Insgesamt	716,9	722,0	-1,6	-2,2

Neue Bundesländer:



Stellung im Betrieb	2000		in % 2000/99	
	Februar	Jan.-Feb.	Februar	Jan.-Feb.
Tätige Inhaber	13,7	13,7	8,3	7,4
Angestellte	50,0	50,5	-2,7	-2,0
Arbeiter	203,9	208,8	-5,1	-4,7
Lehrlinge (gew.)	21,9	22,3	-17,2	-16,8
Insgesamt	289,5	295,3	-5,2	-4,8





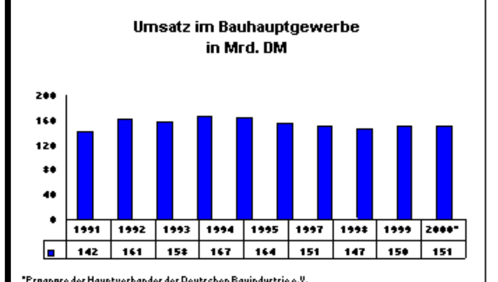
Umsatz im Bauhauptgewerbe (in Mill. DM)

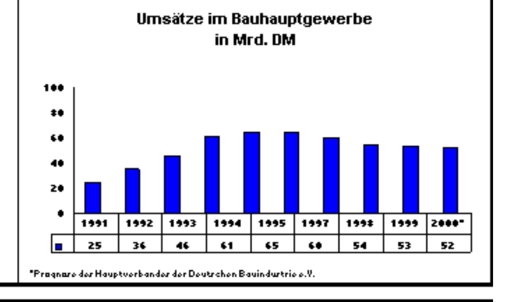
Alte Bundesländer:

Bauart	2000		in % 2000/99	
	Februar	Jan.-Feb.	Februar	Jan.-Feb.
Wohnungsbau	3.314	6.314	15,9	9,8
Wirtschaftsbau	3.462	6.504	13,6	7,5
Öffentl. Bau insg.	2.068	4.057	15,4	9,2
Hochbau	538	1.041	18,6	12,5
Straßenbau	634	1.302	33,0	18,4
Sonst. Tiefbau	896	1.715	4,0	1,4
Insgesamt	8.844	16.876	14,9	8,7

Neue Bundesländer:

Bauart	2000		in % 2000/99	
	Februar	Jan.-Feb.	Februar	Jan.-Feb.
Wohnungsbau	884	1.691	-6,5	-6,9
Wirtschaftsbau	1.033	1.927	11,3	5,0
Öffentl. Bau insg.	775	1.406	14,2	9,2
Hochbau	208	376	-5,5	-1,4
Straßenbau	257	455	18,5	5,7
Sonst. Tiefbau	310	575	28,3	20,7
Insgesamt	2.691	5.024	5,5	1,7





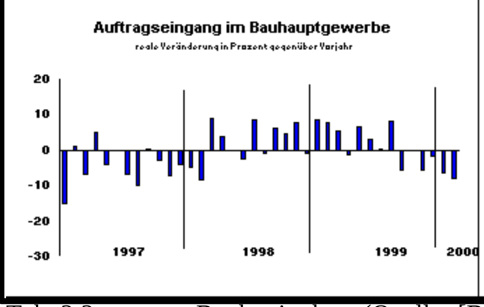
Auftragseingang im Bauhauptgewerbe (in Mill. DM) Betriebe mit 20 und mehr Beschäftigten

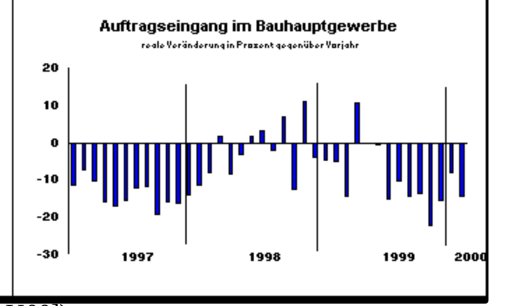
Alte Bundesländer:

Bauart	2000		in % 2000/99	
	Februar	Jan.-Feb.	Februar	Jan.-Feb.
Wohnungsbau	1.485	2.904	-10,2	-5,7
real			**-10,5**	**-5,9**
Wirtschaftsbau	2.816	5.197	-7,9	-7,5
real			**-8,4**	**-8,1**
Öffentl. Bau insg.	1.894	3.492	-4,7	-7,2
real			**-5,7**	**-8,1**
Hochbau	390	831	-29,2	-11,5
real			**-29,6**	**-12,0**
Straßenbau	711	1.223	13,7	-3,0
real			**11,4**	**-4,8**
Sonst. Tiefbau	794	1.437	-2,1	-7,8
real			**-2,8**	**-8,5**
Insgesamt	6.196	11.593	-7,5	-7,0
real			**-8,1**	**-7,6**

Neue Bundesländer:

Bauart	2000		in % 2000/99	
	Februar	Jan.-Feb.	Februar	Jan.-Feb.
Wohnungsbau	497	962	-27,0	-27,6
real			**-26,2**	**-26,8**
Wirtschaftsbau	808	1.532	-9,3	-6,2
real			**-8,6**	**-5,3**
Öffentl. Bau insg.	577	1.105	-8,6	-1,8
real			**-8,2**	**-1,2**
Hochbau	146	279	-8,5	-5,5
real			**-7,7**	**-4,4**
Straßenbau	205	427	-15,6	-4,7
real			**-15,7**	**-4,7**
Sonst. Tiefbau	227	399	-1,3	4,3
real			**-0,6**	**5,2**
Insgesamt	1.882	3.599	-14,5	-11,9
real			**-14,1**	**-11,3**





Tab. 2.2: Baukonjunktur (Quelle: [BAU00])

Änderungen der Nachfragesituation, die aus der gesellschaftlichen Entwicklung resultieren, wirken direkt oder werden z. B. über die Wohnungsunternehmen an die Unternehmen der Bauwirtschaft weitergegeben. Schnelligkeit, Flexibilität und Kosteneffizienz (zur Kostenstruktur s. Tab. 2.1) sind notwendig, um im Wettbewerb bestehen zu können. Voraussetzung für den Erfolg eines Unternehmens ist eine kontinuierliche Verbesserungen auf der technologischen, der wirtschaftlichen und der organisatorischen Ebene. Innovationshemmnisse sind die Kapitalschwäche (besonders bei den vielen Kleinunternehmen), das Qualifikationsniveau der Arbeitskräfte in der Bauwirtschaft, die überkommene Gliederung in Gewerke (ca. 50 Leistungsbereiche lt. VOB). Zugleich gibt es einen Trend, dass Großunternehmen als Dienstleister (Generalunternehmer) auftreten, die Kleinunternehmen als Subunternehmer für die einzelnen Bauleistungen verpflichten.

Eine wichtige Rolle spielen aber auch die Architekten und Bauherren. Sind Architekten nicht in Lage, z. B. Entwürfe für eine elementierte Bauweise auszuarbeiten oder ist diese dem Bauherren nicht vermittelbar, ist die Anwendung moderner Bautechniken und die Nutzung vorgefertigter Baukomponenten nicht im technologisch möglichen und wirtschaftlich sinnvollen Maße möglich. Wird von Innovationen im Wohnungsbau gesprochen, so sind damit zumeist soziale, funktionale, ökologische oder städtebauliche Aspekte gemeint, aber nicht die technologische Innovation.

2.6 Entwicklungsprognosen für den Bereich „Bauen und Wohnen“

In der Delphi-Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik [DEL98] ist der Bereich „Bauen und Wohnen“ eines der untersuchten Themenfelder. Hierzu wurden 75 Thesen zu möglichen Innovationen auf verschiedenen Gebieten Experten aus der Wirtschaft und dem F&E-Bereich vorgelegt. Generelle Aussagen sind:

- Das Themenfeld „Bauen und Wohnen“ ist besonders wichtig für die wirtschaftliche Entwicklung, die Lösung ökologischer Probleme und die gesellschaftliche Entwicklung.
- Es werden baldige große Fortschritte erwartet (insbes. auf den Feldern Ressourcen/Sanierung, Ver- und Entsorgung, Materialien und Bauverfahren), gegenüber utopischen Entwürfen besteht Skepsis.
- Der Forschungsstand in Deutschland wird als hoch eingeschätzt, wobei die Führungsrolle in den Bereichen Ressourcen/Sanierung, Ver- und Entsorgungssysteme und Entwicklung von Materialien und Bauverfahren gesehen wird. (Diese Aussagen unterscheiden sich deutlich von denen in der parallel durchgeführten japanischen Delphi-Studie.)
- Als besonders wichtige Maßnahmen für die Realisierung der in den Thesen genannten Innovationen werden die Verbesserung der deutschen Forschungsinfrastruktur, Regulationsänderung und eine bessere Ausbildung genannt.

Tabelle 2.3 stellt ausgewählte Thesen und den erwarteten Realisierungszeitraum dar.

Nr.	These	Zeitaum
Neue Bautechniken und Architektur		
1	Energiebilanziertes Bauen (einschl. Gewinnung und Recycling der Baustoffe) ist realisiert.	2002-2007
2	Bautechnik, die Erhaltung und Demontage berücksichtigt, ist entwickelt.	2001-2009
3	Fortschritte bei der Haustechnik und der Wärmedämmung, so dass Energieverbrauch auf 20% sinkt.	2003-2009
4	Intelligente Roboter werden auf den Baustellen in großer Zahl eingesetzt.	2008-2020
8	Variable Bauweisen erlauben individuelle Wohnungsgestaltung im mehrgeschossigen Wohnungsbau.	2001-2005
9	Flexible Bauweise für jederzeit änderbare Häuser realisiert.	2003-2010
Informationstechnik in der Städte- und Bauplanung		
20	Abwicklung des Bauprozesses erfolgt in einem vernetzten Informationsverbund der Beteiligten.	2001-2006
21	Baubesprechungen werden mit Hilfe von Telekooperationssystemen geführt.	1998-2010
24	Entwurfsdateien für bestimmte Gebäudetypen sind weit verbreitet.	1997-2008
Versorgungs-/Entsorgungssysteme		
25	Fernüberwachungs- und Kontrollsysteme werden allg. angewendet für höhere Sicherheit von Versorgungsleitungen.	1997-2007
29	Trennung von Brauch- und Trinkwasser ist weit verbreitet.	1997-2009
35	Energieautarke Gebäude sind bei Neubauten verbreitet.	2002-2016

Ressourcen/Sanierung		
36	100% -ige Wiederverwertung von Baunebenprodukten ist möglich.	2001-2008
38	Recyclingtechniken sind wirtschaftlich selbsttragend.	2004-2017
Baustellen-/Fabrikautomation		
40	Bauabläufe sind standardisiert, das Baumanagement optimiert.	2001-2010
41	Kriterien für Entscheidung zwischen Baustellen-Automatisierung und Menschenarbeit mit hocheffektiven Hilfsmitteln werden bestimmt.	2001-2010
42	Gebäude werden schnell und kostengünstig vollautomatisch errichtet.	2007-2015
Gebäudetechnik		
43	Heiz- und Kühlsystem mit Wärmepumpe und Solarenergienutzung wird eingesetzt.	2001-2005
44	MSR-Technik zur Innenklimasteuerung unter Nutzung gespeicherter Kälte und Abwärme wird in der Praxis eingesetzt.	2001-2005
47	Das intelligente Haus wird von Computern gesteuert und überwacht, die drahtlos kommunizieren.	2002-2009
Lebensqualität		
48	Elektronische Assistenzsysteme (Personen-, Gestenerkennung) als Hilfe besonders für ältere Menschen sind realisiert.	2003-2025
Anpassung an gesellschaftliche Entwicklungen		
56	Mit Robotern und Geräten ausgerüstete Wohnhäuser für alte und behinderte Menschen stehen allg. zur Verfügung.	2007-2025
58	Generationengerechte Wohnhäuser, deren Raumaufteilung und Einrichtung den Lebensphasen der Bewohner leicht angepasst werden können, sind weit verbreitet	2003-2014
Sicherheit		
63	Gebäudeüberwachungssysteme (Feuer, Einbruch, Klimatisierung) unter Einsatz von Fernerkundungstechniken (remote sensing) werden genutzt.	1996-2002
Facility Management		
64	Technische Voraussetzung für FM-Systeme werden bereits beim Bau berücksichtigt.	1998-2004

Tab. 2.3: Umfrageergebnisse der Delphi-Studie zum Themenfeld „Bauen und Wohnen“ (Quelle: [DEL98])

3 Stand der Technik und Entwicklungstendenzen

3.1 Informationstechnologie im Bauwesen

Die Informationstechnologie hat in allen Bereichen des Bauwesens Einzug gehalten. Von der Konzeption bis zum Betrieb eines Gebäudes werden Software-Werkzeuge angeboten, die in der Regel als **Insellösungen** mehr oder weniger effektiv eingesetzt werden.

Die Planung von kleineren Gebäuden erfolgt meistens mit 2D-CAD-Systemen. Selbst bei größeren Projekten, die mit 3D-Systemen geplant werden, werden in der Regel nur 2D-Zeichnungen erstellt, zwischen den Projektpartnern ausgetauscht und entsprechend ergänzt (Heizung, Elektro, Sanitär usw.). Zur Massen- und Kostenbestimmung oder zur FEM-Analyse wird unter Umständen mit 3D-CAAD-Systemen nachmodelliert.

Eine Vielzahl von Softwareanwendungen (CAAD, AVA, Fachprogramme) im Bauwesen basieren auf **AutoCAD** von **Autodesk** [MU199, MU299]. Die frühe Verfügbarkeit auf PCs und die Programmierschnittstellen LISP und C/C++ sind die Gründe für eine weite Verbreitung und eine große Entwicklergemeinde. Das AutoCAD interne Datenformat DWG und das Austauschformat DXF sind Quasistandards.

Eine Möglichkeit, Softwarelösungen aus einer Hand zu bieten, ist der Zusammenschluss von Softwarehäusern mit dem entsprechenden Know-how. Die **Nemetschek AG** und die **MB Software AG** sind Beispiele für eine Firmenkonzentration. Die Bestrebungen, die einzelnen Produkte in eine Produktpalette zu integrieren, sind aber in beiden Beispielen noch nicht vollzogen. Außerdem bieten solche Produktpaletten in der Regel nicht die besten Einzellösungen.

Durch den verstärkten Einsatz von Analyse-, Simulations- und Visualisierungsmethoden werden die Vorteile eines digitalen Gebäudemodells greifbar. 3D-CAAD-Systeme, die das Gebäude auf der Basis von **„intelligenten“ Objekten** (Wände, Fenster, Türen usw.) modellieren, sind verfügbar. Diese Objekte enthalten sämtliche Produkteigenschaften und können Beziehungen untereinander aufweisen. Diese Systeme sind der erste Schritt in Richtung Produktdaten.

In der Automobilindustrie sind diese Ansätze am weitesten umgesetzt. Neben dem Produktdesign werden Fertigungsdaten, Simulationsergebnisse usw. in das **Produktmodell** integriert. Dadurch spielt diese Branche in der Produktmodellierung, im Produktdatenmanagement und im Produktdatenaustausch eine Vorreiterrolle.

Durch unterschiedliche Randbedingungen im Bauwesen lassen sich nicht alle Entwicklungen der Automobilindustrie direkt übernehmen. Dennoch sind die Vorteile, das Gebäude als Produkt mit einem bestimmten Lebenszyklus zu betrachten und zu modellieren, für alle am Bauprozess Beteiligten beträchtlich. Die einzelnen Gewerke dürfen dabei nicht isoliert und sequenziell betrachtet werden, sondern müssen gesamtheitlich betrachtet werden. Die Möglichkeiten, die sich daraus ergeben, wie zum Beispiel **Simultaneous** und **Concurrent Engineering,** komplexe Simulationen, Qualitäts- und Kostenkontrolle usw., werden die Rolle aller Beteiligten gravierend beeinflussen [STE97].

3.1.1 Produktmodellierung

Ein wichtiger Aspekt bei der Produktmodellierung ist die vollständige, möglichst lückenlose Betrachtung und Beschreibung eines Produkts über den gesamten Produktlebenszyklus. In jeder Phase des Lebenszyklus werden Informationen erzeugt, benützt oder modifiziert. Abbildung 3.1 zeigt exemplarisch mögliche Produktphasen eines Gebäudes.

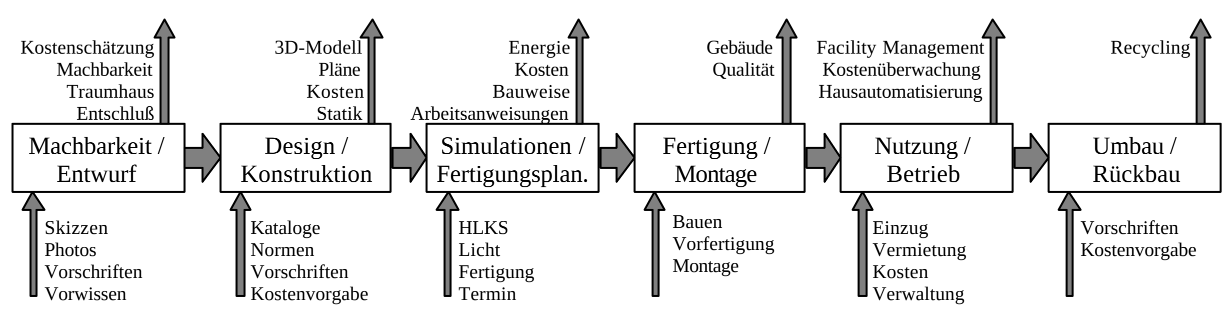


Abb. 3.1: Erzeugung und Nutzung von Produktinformationen in verschiedenen Produktphasen

Modelle werden entworfen, um komplexe Sachverhalte zu verstehen und weiterzugeben. Modelle können aus vielen verschiedenen Sichtweisen entstehen (Aspect Models). Im technischen Umfeld des Bauwesens sind zwei

Sichtweisen interessant, der Prozess und das Objekt. Dementsprechend wird zwischen dem Prozessmodell (Process Model) und dem Objektmodell (Object Model) unterschieden [IFC99a].

Aus den einzelnen Lebensphasen des Gebäudes (siehe Abb. 3.1) lässt sich ein Prozessmodell ableiten. Dieses Modell versucht alle Aktivitäten und ihre Relationen zueinander zu erfassen. Wie jedes Modell ist das Prozessmodell nur unvollständig und gibt die Realität nur bis zu einem bestimmten Grad wieder.

Das Prozessmodell bildet die Grundlage für das Objektmodell (auch Gebäudemodell). Dabei werden die relevanten Produktdaten im Prozessmodell identifiziert und die Strukturen des Objektmodells entworfen. Nach der Verfeinerung der Struktur und der Detaillierung folgt eine formale Beschreibung der Daten. Die formale Beschreibung ist notwendig, um eine eindeutige, korrekte und konsistente Beschreibung des Objektmodells zu gewährleisten [GRA93].

Zur formalen Beschreibung der Modelle werden sogenannte Beschreibungs- oder Spezifikationssprachen eingesetzt. Eine objektorientierte Beschreibungssprache ist **EXPRESS.** Neben der textuellen Repräsentation von EXPRESS steht auch eine graphische Notation, EXPRESS-G zur Verfügung. EXPRESS-G stellt eine Untermenge von EXPRESS dar.

Zur Verarbeitung von EXPRESS gibt es eine Reihe von Softwarewerkzeugen, die die Modellierung unterstützen, überprüfen und graphisch visualisieren können [GRA93]. Diese Werkzeuge sind oft in der Lage, aus der EXPRESS Spezifikation Scanner und Parser für das physikalische Dateiformat abzuleiten. Das sogenannte Frontend (Scanner und Parser) kann damit automatisch erstellt werden. Für den Zugriff auf die angelegte Zwischenstruktur bieten die meisten Werkzeuge eine C / C++ oder Java Schnittstelle. Beispiele für EXPRESS-Entwicklungsumgebungen sind **STEP Caselib** [STE99] von der **ProSTEP GmbH** und das **ECCO Tool** von **PDTec** [AND00].

3.1.1.1 Produktmodelle im Bauwesen

Im Bauwesen wurden mehrere Produktmodelle aus unterschiedlicher Sichtweise entwickelt. Die wichtigsten sind in der Tabelle 3.1 aufgeführt. **CIMsteel** wurde im Rahmen des EUREKA Projekts 130 speziell für den Stahlbau entwickelt. **COMBINE I+II** zielt auf Anwendungen im Bereich Heizung, Lüftung, Energie und Licht ab. Die **Anwendungsprotokolle 225, 228 und 230** von STEP konzentrieren sich auf die Geometrie im Bereich Rohbau, TGA, Innenausbau und Räume, auf Heizung, Lüftung, Klima und auf den Stahlbau. Diese Modelle werden als Sichtmodelle (Aspect Models) bezeichnet [EAS99].

Modell	Entwickler	Jahr	Bemerkungen
CIMSTEEL	EUREKAProject 130 http://www.cis2.org/	1985	Stahlbau 42 Partner aus 8 Ländern → CIS/2 (CIMSteel Integration Standard) → STEP AP230
COMBINE I+II	JOULE	1990	Energie und HVAC 11 Partner aus 7 Ländern
STEP AP225 Application Protocol	NIST		Räumliches Gebäudemodell, Rohbau, TGA, Innenausbau, Räume
STEP AP227 Application Protocol	NIST		Fabrikplanung und -konfiguration
STEP AP228 Application Protocol	NIST	1994	Heizung, Lüftung, Klima
STEP AP230 Application Protocol	NIST		Entwurf, Planung und Konstruktion im Stahlbau
A4	Universität Karlsruhe IFIB	1994	Vieldimensionaler Datenraum
RATAS	VTT Finland	1990	**Integriertes Gebäudemodell**
STEP Part 106 (BCCM) Application Resource	NIST	1994	**Integriertes Gebäudemodell,** Planung, Entwurf, Konstruktion, Betrieb, Wartung, Abbau
IFC	International Alliance for Interoperability (IAI)	1995	**Integriertes Gebäudemodell**

Tab. 3.1: Produktmodelle im Bauwesen

Integrierte Modelle („Building Core Model“ oder „Building Frame Model“) versuchen, den gesamten Lebenszyklus möglichst vollständig (möglichst viele Sichtweisen) zu beschreiben. Einer der ersten Ansätze in diese Richtung ist das **RATAS** Modell. RATAS wurde im Rahmen eines nationalen Forschungsprojektes am Technical Research Center of Finland (VTT) entwickelt. Prinzipiell besteht dieses Produktmodell aus fünf Hierarchiestufen: Building, System, Subsystem, Part und Detail [BJÖ92a]. Später wurde eine weitere Stufe, der Site_and_Building Level, hinzugefügt. Dadurch wurde die Integration von Geländemodellen möglich [EAS99].

Alle Objekte des Modells können Eigenschaften, sogenannte Attributes, enthalten, die vererbt werden können. Ein wichtiges Merkmal von RATAS sind Relationen zwischen Objekten. Es gibt zwei Relationen: „part of“ und „connected to“ [BJÖ92b]. Ein Fenster zum Beispiel ist üblicherweise „part of“ einer Wand. Mit „connected to“ werden typischerweise Objekte der selben Hierarchiestufe zu einer Gruppe oder Baugruppe zusammengefasst. Mit dem RATAS Modell wurde ein wichtiger Beitrag im Bereich Produktdatenmodellierung geleistet. Die Entwicklung dieses Modells wurde durch den Alleingang von Finnland begünstigt, da lediglich auf nationale Gegebenheiten Rücksicht genommen werden musste. Das **RATAS** Modell spielt international keine Rolle.

Ein weiteres Produktdatenmodell im Forschungsbereich ist das **A4-Modell** der Universität Karlsruhe [HOV94]. Das A4-Modell beschränkt sich nicht nur auf die Geometrie, sondern beinhaltet einen vieldimensionalen Datenraum mit den Achsen: X,Y,Z, Zeit, Größenordnung, Auflösung, Teilsystem, Morphologie, Alternativen, User, Timetag, Komposition und Meta. Hiermit können die wichtigsten Informationsmerkmale eines Gebäudes während seiner Lebenszeit dargestellt werden. Daten, Programmstrukturen und Benutzerinteraktionen werden in einem flach strukturierten Datenmodell mit sogenannten Containern gehalten. Mit grafischen Darstellungs- und Editiermöglichkeiten können die Container in beliebige Relationen zueinander gebracht werden. Eine umfassende Visualisierung erlaubt die Navigation in komplexen Umgebungen [HOV98a].

Das **„Building Construction Core Model“ (BCCM)** von STEP (STEP Part 106) befindet sich noch im Vorbereitungsstadium [STE00]. Dieses Modell soll das breite Spektrum von der Planung bis zum Abbau berücksichtigen [AND00]. Als „Integrated Application Resource“ unterstützt das Modell nicht eine spezielle Anwendung, sondern kann von mehreren Anwendungsprotokollen verwendet werden [EAS99]. Das Modell ist in Hauptgruppen unterteilt: „Project Level“ und „Building Construction Characteristics“. Der „Project Level“ enthält alle projektrelevanten Informationen und Vorgänge. Die „Building Construction Characteristics“ enthalten die Produktmerkmale wie Kosten, Materialien, Qualität usw. Beide Hauptgruppen sind in vier Typen untergliedert: Produkte, Prozesse, Ressourcen und Projektkontrolle. Produkte sind alle Elemente, zum Beispiel das Gebäude, Stockwerke, Möbel usw., die aus dem Bauprozess resultieren. Prozesse sind alle Aktivitäten, wie Planung, Fertigung, Transport usw., um ein Gebäude zu erstellen. Ressourcen sind alle Mittel, die Prozesse ermöglichen (Software, Personaleinsatz, Steine usw.). Die Prozesskontrolle stellt die Einhaltung von Auflagen (Normen und Gesetze) und Vorgaben (Masse, Kosten usw.) sicher. Da das BCCM erst in der Definitionsphase ist, liegen keine verfügbaren Schnittstellenprozessoren vor. Durch den breiten Anwendungsbereich und durch einige Unklarheiten im Datenaustausch spielt das BCCM zur Zeit noch keine Rolle.

Seit 1995 entwickelt ein weltweiter Zusammenschluss der Industrie, die **„International Alliance of Interoperability“ (IAI),** ein integriertes Produktmodell. Im Gegensatz zu STEP ist die Entwicklung nicht für eine Normung vorgesehen. Die Entwicklungszyklen sind kurz gehalten und zielen auf die Anforderungen der Industrie ab [EAS99]. Die IAI sieht den Lebenszyklus eines Gebäudes in vier Phasen: Machbarkeit (Feasibility), Entwurf und Planung (Design), Bau (Construction) und Betrieb (Operation). Für jede dieser vier Phasen wurden Prozessmodelle (Process Models) entworfen, die mögliche Aktivitäten und Informationsflüsse beschreiben.

Die in den einzelnen Phasen benötigten und erzeugten Informationen werden in einem Gebäudemodell (Object Model) gehalten. Die Architektur des so genannten **IFC** (Industry **Foundation Classes) Modells** lehnt sich an die Architektur von **STEP** an und besteht aus vier Schichten: Resource Layer, Core Layer, Interoperability Layer und Domain Layer [IFC99b]. Die hierarchische Struktur des IFC Gebäudemodells ist in Projekt, Gelände, Gebäude, Geschosse, Räume und Elemente gegliedert.

IFC ist das aktuellste und vielversprechendste Gebäudemodell. Das Modell ist mit der aktuellen und zertifizierten Version 1.51 noch sehr lückenhaft. Treppen und verschiedene andere Objekte sind noch nicht oder nicht vollständig abgebildet. Abhilfe werden die zukünftigen Versionen 2.x und die spezifizierte Version 3.0 bringen. Dennoch bleibt die Frage über die Zukunft der IFC. Die schnelle, von der Industrie unterstützte Integration von relevanten Objekten in neue Versionen, bringen dem Anwender eine Reihe von Vorteilen. Allem voran entfallen die langwierigen Normungsaktivitäten. Da die **IAI** eine Non-Profit Organisation ist, die von der Bauindustrie abhängig ist, sind die Fragen der Dokumentation, der Wartung und der Weiterentwicklung über einen längeren Zeitraum hinweg noch nicht geklärt. Annäherungen an **STEP** sind noch offen. Dennoch scheint die **IFC** durch ihre dynamische Weiterentwicklung die Anforderungen der Bauindustrie zu treffen.

3.1.1.2 Produktdatenmanagement

Das Produktdatenmanagement (PDM) steuert den ablauforganisatorischen Informationsfluss und verwaltet die Produktdaten. Neben dem Produktdatenaustausch unterstützt das PDM den verteilten Zugriff auf die Produktdaten (Product **Data Sharing)** durch alle beteiligten Projektmitarbeiter. Erst durch den koordinierten Zugriff auf eine gemeinsame Datenbasis werden Entwicklungsmethoden wie **Simultaneous Engineering** und **Concurrent Design** möglich [AND00].

Das Produktdatenmanagement übernimmt folgende Aufgaben:

- optimale Steuerung betrieblicher Abläufe,
- Verwaltung der Produktdaten mit allen Verknüpfungen und Beziehungen,
- Steuerung der Zugriffe,
- Verwaltung der Zugriffsrechte,
- Sicherstellung der Datenkonsistenz,
- Vermeidung redundanter Daten,
- Archivierung.

Kommerzielle PDM-Systeme sind hauptsächlich im Bereich der Automobilindustrie im Einsatz. Beispiele dieser Systeme sind in Tabelle 3.2 aufgeführt.

PDM-System	Entwickler	Jahr	Schnittstellen	Bemerkungen
CIM Database	Contact Software GmbH	1990	STEP, AP214, ENGDAT, ENX	Internetfähig
Enovia	IBM Deutschland GmbH	1991	STEP, AP203, AP214, XML, ISO, OMG, W3C, VRML, STL	Internetfähig, plattformunabhängig, kompl. Lebenszyklus
Windchill	Parametric Technology GmbH	1998	HTML, Java, XML	Internetfähig, kompl. Lebenszyklus
MySAP PLM	SAP AG	1996	STEP, AP214, XML	Internetfähig, kompl. Lebenszyklus
Metaphase	SDRC Software und Service GmbH	1995	STEP, Corba, XML, SQL, Java, TCP/IP	Internetfähig
iMAN	Unigraphics Solution	1990	STEP, Corba, OMG, LDAP, Java, C++, XML	Internetfähig, kompl. Lebenszyklus

Tab. 3.2: Beispiele von kommerziellen Produktdatenmanagementsystemen [AUT00]

Die Einführung von PDM-Systemen kann projektabhängig bis zu einem Jahr dauern und ein Investitionsvolumen von mehreren Hunderttausend Mark umfassen.

Im Bauwesen ist der Einsatz dieser Systeme nicht sehr verbreitet. Lediglich große Planungsbüros verfügen über entsprechende Produkt- oder Dokumentenmanagementsysteme.

3.1.1.3 Produktdatenschnittstellen

Neutrale CAD Schnittstellen, wie zum Beispiel **IGES, DXF** und **VRML,** beschränken sich beim Austausch von Daten auf die geometrische Repräsentation der Gebäude. Materialeigenschaften (inklusive Texturen) und Gebäudestrukturen werden nur begrenzt übertragen. Im häufigsten Fall werden 2D-Zeichnungen mit dem AutoCAD Standard DXF ausgetauscht. Werden 3D-Daten mit DXF oder VRML übertragen, können die Modelle oft nur schwer oder gar nicht weiterverarbeitet werden. Werden die Möglichkeiten von IGES genutzt, kann die 3D-Geometrie zumindest für grundlegende Manipulationen weiterverwendet werden.

Produktdaten enthalten nicht nur die Geometrie von einzelnen Objekten. Bei Produktmodellen wird auch die Produktstruktur abgebildet. Objekte enthalten nicht nur Materialeigenschaften, sondern auch funktionale und administrative Eigenschaften. Zusätzlich können einzelne Objekte in unterschiedlichen Relationen zueinander stehen.

Um Produktdaten von Gebäuden auszutauschen, gibt es zur Zeit zwei Ansätze, das **STEP Anwendungsprotokoll 225** und die **Industry Foundation Classes (IFC)** von der **International Alliance for Interoperability (IAI). STEP** bietet drei weitere Anwendungsprotokolle speziell für den Stahlbau (AP230), für Heizung, Lüftung und Klima (AP228) und für die Fabrikplanung (AP227) [AND00].

Für **AP225** und **IFC** gibt es nur einige kommerzielle Prozessoren. Tabelle 3.3 listet die Wichtigsten auf.

System	STEP AP 225	IFC 1.5.1	Bemerkung
Allplan	vorhanden	vorhanden (zertifiziert)	
ArchiCad	nicht verfügbar	vorhanden (zertifiziert)	IFC 1.5.1 getestet
Architectural Desktop	nicht verfügbar	vorhanden (zertifiziert)	IFC 1.5.1 getestet
bocad	nicht verfügbar	vorhanden	nur Proxies
Arcon	nicht verfügbar	in Vorbereitung	
RibCon	vorhanden	nicht verfügbar	

Tab. 3.3: Verfügbare Schnittstellenprozessoren

Der Produktdatenaustausch mit STEP AP225 und IFC steht erst am Anfang. Seit Mitte 2000 sind drei IFC Prozessoren (Allplan, ArchiCAD und Architectural Desktop) zertifiziert. Beide Schnittstellenformate können Gebäude im Rohbaustadium übertragen. Neben der Geometrie werden strukturelle und administrative Daten übertragen.

3.1.2 Verfügbare Softwarelösungen

3.1.2.1 Entwurf und Planung

Beim Entwurf und der Planung von Gebäuden steht zunächst der **architektonische Aspekt** im Vordergrund. Im Gegensatz zum **Computer Aided Architectural Design (CAAD)** sind beim Entwurf weniger konkrete Maße wichtig, als vielmehr **Formen, Räume, Proportionen, Farben** usw. Die ersten Planungs- und Entwurfsskizzen werden in der Regel von Hand auf Papier gezeichnet. Für eine elektronische Weiterverarbeitung (Verfeinerung, Bemaßung, 3D-Design usw.) sind diese Skizzen nicht nutzbar. Eine Möglichkeit, Skizzen bei gewohnter Arbeitsweise elektronisch zu erstellen, bieten elektronische Zeichenbretter. Das Papier wird dabei durch einen drucksensitiven Flachbildschirm und der Bleistift durch einen neutralen Stift ersetzt. Die Skizzen können auf mehreren unterschiedlichen Folien erstellt werden. Digitale Photographie und Bilder können den Skizzen unter- bzw. hinterlegt werden. Eine manuelle Weiterverarbeitung von Ansichten und Schnitten ist im Prinzip möglich.

Spezielle 3D-Entwurfs- und Planungswerkzeuge für die Architektur sind kommerziell kaum verfügbar. Generelle Designerwerkzeuge, wie **3D-Studio, Alias|Wavefront** und **SoftImage,** bieten zwar die Möglichkeit, komplexe Formen und Strukturen zu entwerfen, sind aber in den Bereichen Bemaßung und Fertigung sehr unzulänglich. Die Geometrie muss deshalb in der Regel mit Verlusten in ein CAD-System übertragen werden.

Rechnergestützte Entwurfswerkzeuge für den Architekten sind noch im Entwicklungsstadium. Die ETH Zürich entwickelt mit dem Entwurfsinstrument **SCULPTOR** [SCH96a] ein System, das auf der Basis von positiven und negativen Volumina komplexe Designstudien erlaubt. Die Volumina sind beliebig verformbar und können mit Hilfe von Regeln (z. B. Goldener Schnitt) dekomponiert werden (siehe Abb. 3.2). Für alle Objekte können Materialeigenschaften (inklusive Texturen) vergeben werden. Die Lichtsimulation erfolgt mit dem Programm **RADIANCE** (siehe Fachprogramme / Simulationsprogramme). Unterschiedliche Repräsentationen und Abstraktionsgrade inklusive funktionelle Verknüpfungen schaffen eine Umgebung, in der nur die gewünschten Informationen angezeigt werden können. Interaktiv steuerbare Transformationsregeln erlauben es, Objekte automatisch oder teilautomatisch zu erzeugen und zu modifizieren. Die komplette Geometrie kann mit Hilfe verschiedener Filter (DXF, VRML) exportiert werden.

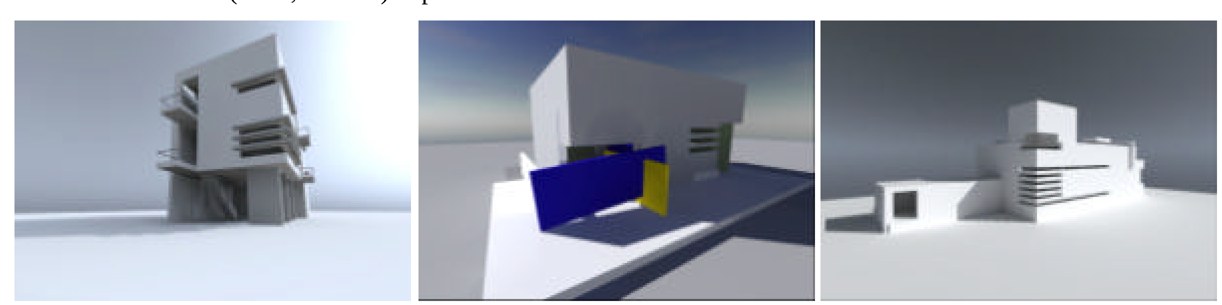


Abb. 3.2: Designstudien entworfen mit SCULPTOR

Der Ansatz von SCULPTOR zeigt, dass bereits in einem frühen Entwurfsstadium Informationen mit Hilfe von Computern erzeugt, modifiziert und benutzt werden können, die weit über die traditionelle Entwurfsmethodik (Skizzen, Modelle) hinausgeht. Teile dieser Informationen (Geometrie) können für die Konstruktion des Gebäudes wieder verwendet werden.

3.1.2.2 Datensammlungen

Datenbasen sind Informationsquellen, die während der gesamten Lebensdauer eines Gebäudes gebraucht werden. Die Daten können offline auf Medien (CD-Rom, Diskette), online (Internet, Datenbanken) oder in Buchform vorliegen. Je nach Änderungsdynamik werden die Informationen viertel-, halb- oder einjährig aktualisiert. Beispiele von verfügbaren Informationen sind Baukostenkennwerte, technische Baubestimmungen, Öffentliches Baurecht, Leistungsverzeichnisse, Firmen- und Produktverzeichnisse.

Baukostenkennwerte und Leistungsverzeichnisse werden für die Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA) benötigt. Beispiele sind die Produkte vom **Baukosteninformationszentrum (BKI),** von **Dr. Schiller & Partner GmbH, Dynamische BauDaten** und von der **Edition AUM GmbH** [MU199].

Eine Sammlung von **„Eingeführten Technischen Baubestimmungen“** (DIN-Normen, Richtlinien, Erlasse) wird von der **Verlagsgesellschaft Rudolf Müller** in digitaler Form (CD-ROM) angeboten und gewartet.

Suchfunktionen erlauben das Auffinden und Übernehmen von relevanten Textstellen, Tabellen oder Abbildungen.

Derselbe Verlag bietet eine umfangreiche Sammlung von baurelevanten Gesetzen des **öffentlichen Baurechts** auf Bund- und Länderebene an. Die Sammlung kann mit einem Internetbrowser angezeigt werden und erlaubt Recherchen und Volltextsuche [MU199].

Der **„Gemeinsame Ausschuss Elektronik im Bauwesen“ (GAEB)** beschreibt im **Standardleistungsbuch (StLB)** Bauleistungen, die zur Errichtung von Bauwerken, zur Bauunterhaltung und zur Sanierung und Modernisierung benötigt werden [MU199]. Das **Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN)** ist der Herausgeber des **Standardleistungsbuchs** für das Bauwesen. Der Vertrieb von Buch und Datenträger erfolgt durch die **Beuth Verlag GmbH.** Mit dem **STLB-Bau** ersetzt der **GAEB** das bisherige StLB durch ein intelligentes Textsystem (Textgenerator). **STLB-Bau** wird von **Dr. Schiller & Partner GmbH, Dynamische BauDaten** datentechnisch umgesetzt und zweimal jährlich aktualisiert.

Zur Komponentenauswahl stehen Produktkataloge in Papierform, digital auf Datenträgern oder online im Internet zur Verfügung (z. B. **BRICSNET PRODUCTCENTER, BauNetz, ArchiNet** usw.). Zusätzlich zu den technischen Daten der Produkte werden 2D-Symbole oder 3D-Modelle angeboten. Symbole sind häufig in den Autodesk Formaten DWG und DXF verfügbar. Einfache 3D-Modelle können kostenfrei in den Formaten **DXF, 3DS** und **VRML** im Internet heruntergeladen werden. Anspruchsvollere Modelle (komplexer und genauer) können in der Regel in systemabhängigen Formaten kostenpflichtig bezogen werden. Beispiele sind die Objektbibliotheken im **O2C-Format** der Firma MB Software AG, im **SPX-Format** der Firma Dimension 3D-Systems GmbH oder im **ArchiCAD** Format von Objects-Online. Für die Formate O2C und SPX stehen Viewer Plug-ins für Internetbrowser kostenlos zur Verfügung, so dass die Objekte bereits im Internet dreidimensional dargestellt werden können. O2C Objekte können neben der Geometrie auch Animationen und Interaktionen enthalten. Die Modelle von Objects-Online für ArchiCad sind parametrisiert, können Eigenschaften enthalten und animiert werden.

Mit der Verfügbarkeit von digitalen Informationen lassen sich viele Bereiche rationalisieren. Bei der Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung ist die Nutzung des **STLB** bereits Alltag. Die Erstellung von digitalen Produktbibliotheken, inklusive 3D-Modellen, wird von den Software- und den Produktherstellern gleichermaßen vorangetrieben. Auf der einen Seite lassen sich Gebäude inklusive Ausstattungsdetails ohne Produktbibliotheken nicht effektiv planen. Auf der anderen Seite werden Hersteller, die keine 3D-Modelle zur Verfügung stellen, im Planungsprozess früher oder später benachteiligt sein.

3.1.2.3 Computer Aided Architectural Design

Obwohl noch viele Projekte mit 2D-CAD-Systemen abgewickelt werden, geht die Tendenz in vielen Bereiche des Bauwesens zu **objektorientierten** 3D-Systemen. **ArchiCad** von **GRAPHISOFT** und **Allplan** von **Nemetschek** sind Beispiele, die sich längst auf dem Markt etabliert haben. **Autodesk** folgt mit dem neuentwickelten **Architectural Desktop (ADT)** dieser Tendenz. Nur mit diesen Systemen lassen sich Massen bestimmen, Stücklisten erstellen, beliebige Schnitte automatisch erzeugen, Kollisionen berechnen, photorealistische Bilder erzeugen usw. **Objektorientiert** bedeutet, dass der Planer das Gebäude mit Objekten wie Wänden, Türen, Fenstern usw. „aufbaut“. Die Objekte enthalten neben **Eigenschaften** wie Material, Farbe, Aufbau usw. auch **Methoden** und **Constraints.** Abbildung 3.3 zeigt die Konstruktion eines Wandelements aus Wand, Wandöffnungen, Fenster- und Türelementen. Während der Konstruktion wird bereits überprüft, ob die Objekte Fenster und Tür vollständig in der Wand platziert sind. Wird zum Beispiel versucht ein Fenster außerhalb einer Wand zu positionieren, wird der Planer gewarnt. Die verwendeten Objekte sind in der Regel parametrisiert modelliert und können aus einer Bibliothek entnommen oder selbst erzeugt werden.

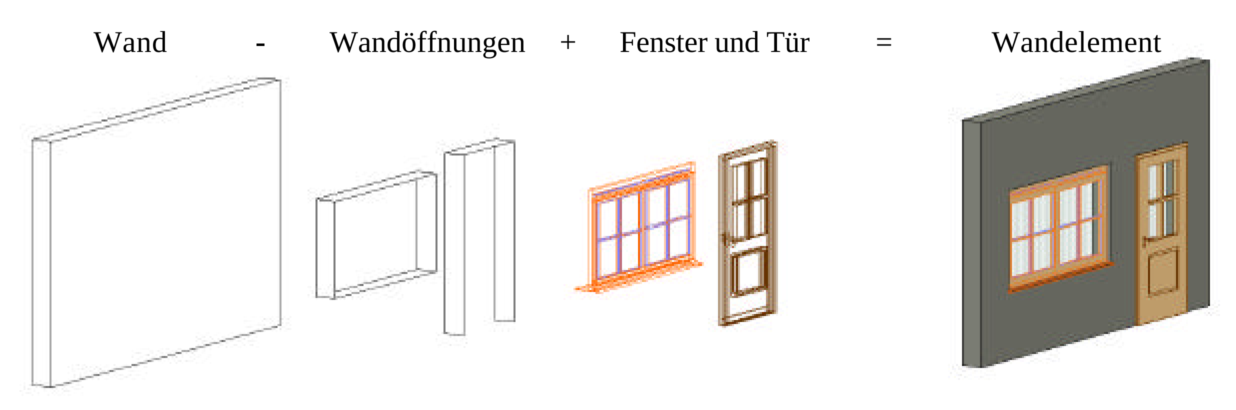


Abb. 3.3: Konstruktion eines Wandelements

Gebäudestrukturen, wie zum Beispiel Geschosse, Gebäudeabschnitte, können oft nicht direkt abgebildet werden. Einige Systeme wie ArchiCad bieten zwar eine Geschossverwaltung an, Gebäudeabschnitte und sonstige Strukturen müssen aber manuell in **Layerstrukturen** gepackt werden. Die Erstellung von Raumbüchern und Stücklisten sowie die Massenermittlung wird von vielen unterstützt.

Um Projekte im Team zu bearbeiten, bietet das System ArchiCad ein **Teamworkmodul** an. Nachdem der Projektadministrator das Projekt initialisiert und die Berechtigungen vergeben hat, können die Teammitarbeiter an vernetzten Rechner auf unterschiedliche Projektbereiche zugreifen und diese bearbeiten. Die Ergebnisse können auf Anforderung dem gesamten Team zur Ansicht übermittelt werden. Allplan verwaltet mit dem Modul **Workgroup** große Projekte.

Alle Systeme erlauben den Wechsel zwischen dem **3D-Modellbereich** und dem **2D-Zeichenbereich.** Beim Entwerfen und Planen spielt es keine Rolle, in welchem Bereich der Anwender die Objekte positioniert. Die Bereiche werden gegenseitig aktualisiert. Die Bemaßung erfolgt assoziativ im 2D-Zeichenbereich. Komplette Pläne, mit Draufsichten, Schnitten und 3D-Ansichten werden in separaten Modulen (PlotMaker, **Allplot** usw.) erstellt.

Neben den Grundmodulen gibt es verschiedene Module für spezielle Anwendungen. **Allplan FT-Innenarchitektur** von **Nemetschek** ist eine fachspezifische Lösung für die Innenarchitektur. Das System **bocad-3D** von der **bocad GmbH** wird im **Stahl-, Fassaden-, Glas-, Metall- und Holzbau** eingesetzt. **XSTEEL** der Firma **Tekla Oy** ist ein Expertensystem für den Stahlbau. Die Firma **GranIT** bietet mit **CADstone** ein System speziell für die Fertighausindustrie an. Das System deckt die Bereiche Massiv-Fertigbau und Holzrahmenbau ab. Als zusätzliches Modul steht das **Steinaufteilungsprogramm SAM** zur Verfügung. Für die Städte- und Landschaftsplanung gibt es einen breiten Leistungsbereich von einfachen Zusatzmodulen bis zu speziellen Komplettsystemen, die in den Bereich GIS (Geoinformationssysteme) fallen.

Die Erzeugung von Fertigungsdaten (CAM – Computer Aided Manufacturing) bieten nur wenige Systeme. Die Bereiche konzentrieren sich auf den Stahlbau und den Holzbau. Bocad-3D kann auf der Basis der Geometriedaten die NC-Programme (DSTV-Schnittstelle) erzeugen. **CADstone, CADWork, DI CAD/CAM** und **SEMA** können Maschinendaten für Abbundanlagen, Bohr- und Nagelbrücken und Plattenbearbeitungs-zentren generieren. CADstone und SEMA können Laserprojektoren ansteuern, um Geometriedaten von Fertigbauteilen im Maßstab 1:1 auf Fertigungstische zu projizieren.

Die verfügbaren objektorientierten CAAD-Systeme haben einen **hohen Entwicklungsstand** erreicht. Diese Systeme sind die Basis für die **Produktdatenmodellierung.** Dennoch sind die heutigen objektorientierten Ansätze nicht in der Lage, während der Laufzeit neue Objektklassen zu erzeugen. Nicht klassifizierbare Elemente werden als sogenannte **„Proxies“** behandelt. An der Universität München wurde ein interaktiver Modellierer für evolutionäre Produktmodelle entwickelt und als Prototyp (CADOOM – **Computer Aided Dynamic Object Oriented Modeler)** realisiert. In CADOOM werden alle Objektklassen durch Attribute beschrieben, wobei auch die Geometrie als Attribut angesehen wird. Für die Objektklassen können je nach Sichtweise verschiedene Varianten definiert werden. Beziehungen zwischen Objektinstanzen können durch typisier- und attributierbare Bindungen modelliert werden [KOW97].

3.1.2.4 FEM / Tragwerksplanung

Baustatische Berechnungen müssen die **Standsicherheit** baulicher Anlagen und ihrer Teile nachweisen. Die Baustatik besteht aus der **Statik** im engeren Sinne (materialunabhängig) und der **Elastizitäts- und Festigkeitslehre.**

Bei einfachen Gebäuden, wie zum Beispiel bei Einfamilienhäusern, können die statischen Berechnungen relativ einfach ausfallen. Dieser Häusertyp wird meistens in Mauerwerk- oder Skelettbauweise realisiert. Einige Länder verzichten dann ganz auf Berechnungen und verlassen sich auf die Erfahrungen des Planers. Überprüft bzw. berechnet werden in der Regel **Fundamente, tragende Wände, Stützen, Balken, Decken** und **Dachkonstruktionen.** Zu beachten sind dabei das Eigengewicht, Verkehrslasten durch die Nutzung des Gebäudes, Schneelast, Eislast, Windsog, Winddruck, dynamische Belastungen durch Schwingungen, thermische Belastungen und Setzungen [FRI97].

Fundamente übertragen alle durch das Gebäude verursachten Lasten auf den Baugrund. Fundamente werden in **Einzel-, Streifen-** und **Plattenfundamente** unterteilt. Einzelfundamente werden bei einzelnen Stützen und schweren Einzellasten wie Schornsteinen eingesetzt. Streifenfundamente dienen zur Aufnahme von linienartig einwirkenden Lasten aus Mauern oder Stützenreihen. Bei schlechtem Baugrund und bei komplizierten Grundrissen mit unterschiedlichen Höhenlagen sind Plattenfundamente (Fundamentplatten) oft wirtschaftlicher als zahlreiche Streifenfundamente. Die Auslegung eines Fundamentes hängt signifikant vom Baugrund ab. Sind die Baugrundeigenschaften hinreichend bekannt, können für einfache Fälle die Werte für die zulässige Bodenpressung zur Dimensionierung der Fundamente aus Tabellen der DIN 1054 entnommen werden [FRI97].

Ebene und räumliche Stabwerke, im einfachsten Fall Balken und Stützen (siehe Abb. 3.4), können mit der **Theorie I. Ordnung,** der **Theorie II. Ordnung** und **Fließgelenktheorie** berechnete werden. Bei der Theorie I. Ordnung werden die Gleichgewichtsbedingungen am **unverformten System** bestimmt, die Verschiebungsgrößen (Verschiebungen, Verzerrungen, Verdrehungen) als klein gegenüber den Systemabmessungen angenommen und ein linearer Zusammenhang zwischen Spannung und Verformung (Hookesches Gesetz) vorausgesetzt. Die Theorie II. Ordnung bestimmt das Gleichgewicht am **verformten System.** Der Zusammenhang zwischen Spannung und Verformung kann linear oder nichtlinear angesetzt werden. Die Bemessung nach der **Fließgelenktheorie** führt zu wirtschaftlicheren Konstruktionen. An Stellen von Fließgelenken muss sichergestellt sein, dass eine **ausreichende Rotationskapazität** vorhanden ist. Liegen keine abgesicherten Kenntnisse über die Rotationskapazität vor, wie zum Beispiel bei Anschlusskonstruktionen (Knotenpunkten), lässt sich die Fließgelenktheorie in der Praxis oft nicht anwenden.

Flächentragwerke werden je nach Krafteinwirkung in **Scheiben** oder **Platten** unterteilt (siehe Abb. 3.4). Die Berechnung von Flächentragwerken erfolgt heute auf Rechnern mit der **Methode der Finiten Elemente.** Die Finite Elemente Berechnung besteht in der Regel aus folgenden Teilschritten: Geometrische Modellierung, Eingabe der externen Belastung, Berechnung der Elementsteifigkeit, Zusammenbau der Steifigkeitsmatrix, Lösung des Gleichungssystems und der Spannungsanalyse.

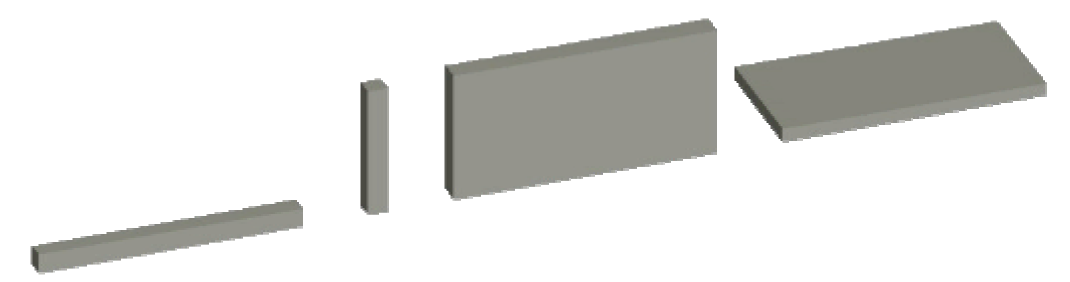


Abb. 3.4: Tragelemente (Balken, Stütze, Scheibe, Platte)

Die verfügbaren Berechnungsprogramme können in drei Klassen unterteilt werden: Programme zur Stabtragwerksberechnung nach der Theorie I. + II. Ordnung, Finite Elemente Programme und die Kombination von beiden. **RSTAB 5** der Firma **DLUBAL GmbH** ist zum Beispiel ein System zur Berechnung von ebenen und räumlichen Stabwerken einschließlich der Berechnung von Seiltragwerken. **ABIS-FEM** der Firma **ABIS GmbH** und **AllFEM FT** (in ALLPlot FT integriert) der **Nemetschek AG** sind Systeme für die Berechnung von Tragwerken mit der Methode der Finiten Elemente. **AllFEM FT** ist zusätzlich in der Lage die Berechnungsergebnisse direkt in Bewehrungspläne umzusetzen (zum Beispiel BAMTEC). Universelle Systeme, wie zum Beispiel **Baustatik-Programme** der **Friedrich + Lochner GmbH, CS-Statik** der **CSI GmbH, RibTEC** der **RIB GmbH** und **SOFiSTiK** der Firma **SOFiSTiK,** sind in der Lage Berechnungen nach der Theorie I. + II. Ordnung und der Methode der Finiten Elemente durchzuführen [MU199].

Viele Anbieter der genannten Systeme haben auch CAAD-Systeme im Produktspektrum. Der Geometriedatenaustausch erfolgt deshalb in der Regel direkt mit dem CAAD-System. SOFiSTiK bietet das Programm sowohl als Stand-Alone Version als auch als AutoCAD Anwendung an. Produktdaten kann keines der Systeme direkt verarbeiten. Im CAAD bereits vorhandene Informationen, wie der Wand- und Deckenaufbau, Balken- und Stützenelemente und Materialeigenschaften, können nicht genutzt werden und müssen erneut eingegeben werden.

3.1.2.5 Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Die **Technische Gebäudeausrüstung** oder **Haustechnik** ist ein Sammelbegriff für alle Maßnahmen, die der **Ver- und Entsorgung** eines Gebäudes dienen. Beispiele hierfür sind Trinkwasserversorgung, Energieversorgung, Warmwasserbereitung, Fernmeldeanlagen, Gebäudeentwässerung und Abfallbeseitigung. Die Haustechnik, mit Leitungsnetzen, Geräten und Einrichtungsgegenständen, beansprucht in einem Mehrfamilienhaus bis zu **20 %,** in einem Einfamilienhaus bis zu **30 %** und in einem Bürogebäude bis zu **50 %** der gesamten Gebäudekosten.

Durch die **hohe Lebensdauer** eines Gebäudes darf die Haustechnik nicht nur den Bedarf zum Zeitpunkt der Planung decken, sondern muss **zukünftige Ergänzungen** und **Erweiterungen** ohne kostspielige Eingriffe ermöglichen. Zusätzlich sind bei der Planung alle **Sicherheitsstandards** einzuhalten und **Wartungsaspekte** zu berücksichtigen [VOL99].

Zur Planung und Realisierung der Haustechnik stehen eine Reihe von Softwarewerkzeugen zur Verfügung. Die Anwendungsgebiete sind in **Heizung, Lüftung, Sanitär** und **Elektro** unterteilt. Die meisten Programme arbeiten im **2D** und im **3D. pit-cup** der pit-cup GmbH, **SymCAD** der C.A.T.S. GmbH und **RoCAD** von der Mensch und Maschine AG sind **AutoCAD** (auch **AutoCAD Architectural Desktop)** Anwendungen und decken

alle Bereiche ab. **SOFiTEC** der **SOFiSTIK GmbH** ist ebenfalls eine **AutoCAD** Anwendung, bietet aber im Bereich Sanitär keine Funktionalität. **ALLKLIMA** von der **Nemetschek AG, CADdy Haustechnik** von der **ZIEGLER-Informatics GmbH** und **TRICAD-GT** der **Triplan AG** setzten auf den entsprechenden CAAD-Systemen auf [MU299].

Bei der Haustechnikplanung wird die **Geometrie** aus dem entsprechenden CAAD-System **genutzt** oder über die CAAD Grundfunktionen **importiert.** Zur Überprüfung der Planung bieten einige Systeme direkte Schnittstellen zu Berechnungsprogrammen. **Pit-cup** und **CADdyHaustechnik** bieten zum Beispiel eine direkte Anbindung an das Berechnungsprogramm **SOLAR. ALLKLIMA** hat **Schall-** und **Kühllastberechnungen** bereits integriert. Das Ergebnis der Planung sind **Funktions- und Strangschemata, Stücklisten** und **Ausführungspläne** (siehe Abb. 3.5). Diese Ergebnisse können zur **Ausschreibung, Vergabe** und **Abrechnung** (AVA) weiterverwendet werden. Einige Systeme wie **ALLKLIMA** und **pit-cup** können ihre Ergebnisse als Grundlage für das **Facility Management** weitergeben.

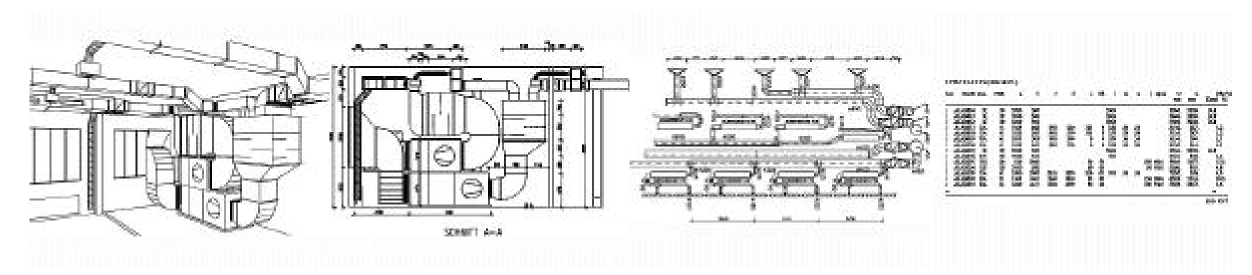


Abb. 3.5: Ergebnisse einer TGA-Planung (3D-Modell, Schnitt, Funktionsschema, Stückliste)

Die **TRICAD Kollisionsprüfung** von **Triplan** überprüft als Anwendung für **MicroStation** alle Elemente auf **Kollision.** Alle gefundenen Kollisionen werden angezeigt und optional als HTML-Dokument abgespeichert.

Bereits 1980 wurde von Prof. Fritz Haller an der Universität Karlsruhe das allgemeine **Installationsmodell ARMILLA** für den Entwurf und die Planung der technischen Ausrüstung komplexer Gebäude entwickelt [HOV94]. Die softwaretechnische Implementierung des Modells begann 1986 mit ARMILLA 1 und hat mit ARMILLA 4 einen Stand erreicht, der den Gebäudebetrieb und die Gebäudesteuerung umfasst. In ARMILLA werden **wissensbasierte Methoden** (KnowledgeCraft) zur räumlichen Koordination und dem kooperierenden Entwurf der technischen Gebäudeausrüstung benutzt [HOV94, HOV98b]. ARMILLA 5 + 6 erweitern ARMILLA 4 mit Komponenten der **Internettechnologie** und der **Virtual** und **Augmented Reality** [HOV98b].

Alle kommerziellen Haustechnikprogramme sind in CAAD-Systeme integriert. Als Ergebnis erzeugen die Programme Listen, Tabellen, 3D-Modelle, Schema und Ausführungspläne, die nach dem Auslesen in der Regel ihre Referenzen zueinander verlieren. Der Datenaustausch erfolgt durch **direkte Schnittstellen** zu Berechnungsprogrammen, AVA-Programmen und Facility Management Systemen. **Integrale Produktdaten** werden nicht erzeugt.

Die Planung der Haustechnik ist noch voll in der **Verantwortung des Planers.** Hilfsmittel wie Kollisionserkennung sind nur in wenigen Systemen vorhanden. Systeme, die den Planer bei der räumlichen Anordnung und Koordination der Haustechnik unterstützen gibt es nur im Forschungsumfeld.

3.1.2.6 Fachprogramme / Simulationsprogramme

Fachprogramme sind alphanumerische Anwendungen in den Bereichen Organisation, Management, Controlling sowie Wärmeschutz-, Schallschutz-, Feuchteschutz- und Brandschutzberechnungen [MU199]. **Simulationsprogramme** versuchen Vorgänge und Prozesse, die in verschiedenen Lebensphasen eines Gebäudes ablaufen, möglichst gut wiederzugeben. Einige Beispiele von Fach- und Simulationsprogrammen sind in Tabelle 3.4 aufgeführt.

Die Grenzen zwischen **Fachprogrammen** in den Bereichen **Organisation, Management und Controlling** zu den **AVA-Programmen** im engeren Sinne sind fließend. Das System **BauProCheck** der Firma **ADS GmbH** verwaltet die gesamte Projektabwicklung von den Vorgesprächen bis zur Dokumentation. Durch Musterbriefe und Regelabläufe wird das Qualitätsmanagement nach DIN ISO 9000 unterstützt [MU199]. Mit dem System **Construction Monitor** können **Baumängel** erfasst, dokumentiert und verwaltet werden. Das Programm kann stationär im Büro und auf mobilen Rechnern (Pen-Computer, Laptop) auf der Baustelle eingesetzt werden. Die Daten können direkt oder per **Datenfernübertragung** zwischen dem stationären und dem mobilen Rechner abgeglichen werden [MU199].

Die **Fachprogramme** im Bereich **Wärmeschutz-, Feuchteschutz-, Schallschutz- und Brandschutznachweis** ergänzen die Programme in der **Technischen Gebäudeausrüstung.** Programme, wie zum Beispiel

ArchiPHYSIK, Dämmwerk, SOLAR und **CADdy++ Thermische Gebäudeanalyse,** führen abhängig vom Wandaufbau bauphysikalische Berechnungen und Nachweise durch [MU199].

Programme	Status	Einsatzgebiet
BauProCheck http://bauprocheck.de	kommerziell	Projekt- und Büroorganisation
Construction Monitor http://www.kommazwo.com/bm/	kommerziell	Baumängelmanagement
ArchiPHYSIK http://www.a-null.com	kommerziell	Wärmeschutz-, Schallschutz- und Feuchteschutz-berechnungen
Dämmwerk http://www.bauphysik-software.de	kommerziell	Wärmeschutz-, Feuchteschutz-, Schallschutz- und Brandschutznachweise, Energieberechnungen
SOLAR-COMPUTER-Software http://www.solar-computer.de	kommerziell	Bauphysik, Heizungs-, Sanitär- und Lüftungstechnik, Kühllastberechnungen
CADdy++ Thermische Gebäude http://www.caddy.de	kommerziell	Wärmeschutzberechnungen, Dampfdiffusion
RADIANCE http://eetd.lbl.gov/software.html	Forschung	Lichtsimulation
INSPIRER http://www.integra.co.jp/eng/	kommerziell	Lichtsimulation
ADELINE http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline	Forschung	Lichtsimulation, Tageslicht, elektrische Beleuchtung
Trane Acoustics Program http://www.trane.com	kommerziell	Akkustiksimulation
SUNCODE http://archsfa.com/tangent/ tad/SUNCODE.HTM	kommerziell	Instationäre Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden, Simulation von Mehrzonenmodellen
DOE-2 http://gundog.lbl.gov/	Forschung	Energieverbrauch, Energiekosten, Wettereinflüsse
TRNSYS http://sel.me.wisc.edu/trnsys/	kommerziell	Instationäre Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden, Simulation von Mehrzonenmodellen
ANTARES http://www.lop.de/antares/	kommerziell	Stationäre Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden, Mehrzonenmodell nach dem statischen Monatsbilanzverfahren
HELENA http://www.isover.de/	kommerziell	Stationäre Berechnung des thermischen Verhaltens von Gebäuden, Berechnung passiv solarer Gewinne in Gebäuden über Fenster und Wintergärten
SOMBRERO http://nesa1.uni-siegen.de/softlab	Forschung	Schattenberechnung
COMIS http://www-epb.lbl.gov/comis	Forschung	Mehrzonen Gebäudedurchströmung
FLOVENT / FLOTHERM http://www.flomerics.de	kommerziell	Luftströmungen, Wärmeaustausch, Be- und Entlüftungssysteme, Rauchausbreitung, Wärmeanalyse

Tab. 3.4: Beispiele von Simulations- und Fachprogrammen [MU199]

Simulationsprogramme werden hauptsächlich in Forschungsprojekten entwickelt. Einige Programme stehen kostenlos oder als kommerzielles Produkt zur Verfügung. Wichtige Bereiche sind die **Lichtsimulation,** die **Akkustiksimulation** und das **thermische Verhalten von Gebäuden.** Die Lichtsimulation reicht von frei verfügbaren **Raytracing** Programmen (z. B. POV-Ray, http://www.povray.org) bis zu Programmen wie **RADIANCE, INSPIRER** und **ADELINE** zur Simulation von Tages- und Kunstlicht inklusive Berechnungen von Helligkeiten und Wärmeentwicklung. Das **Trane Acoustics Program** bietet die Möglichkeit **Geräuschentwicklungen,** die zum Beispiel von Klima- und Lüftungsanlagen ausgehen, **zu simulieren** und **zu analysieren.** Geräuschquellen können mit dem Programm lokalisiert und bereits in der Planungsphase eliminiert werden. Zur Simulation des thermischen Verhaltens eines Gebäudes gibt es eine Vielzahl von Programmen. Hier werden zwei Berechnungsverfahren unterschieden: Das **instationäre Verfahren** berücksichtigt den zeitlichen Verlauf von Parametern wie Lufttemperatur und Lastverlauf, während das **stationäre Verfahren** mit konstanten Mittelwerten rechnet. **Suncode, DOE-2** und **TRNSYS** arbeiten mit instationären Berechnungsverfahren, während **ANTARES** und **HELENA** stationäre Verfahren verwenden.

Neben diesen Simulationsprogrammen gibt es eine Reihe von Anwendungen, die sich mit sehr speziellen Problemen beschäftigen. **SOMBRERO** der **Universität-GH Siegen** berechnet zeitabhängig den **Schattenwurf** von Objekten auf beliebige Oberflächen [SOM00]. Die Ruhr-Universität Bochum hat ein Programm zur Simulation von komplexen **Bauwerk-Sprengungen** entwickelt. Mit den Informationen von Tragwerkstruktur, Zündzeitpunkten und Lage der Sprengladungen werden für den jeweiligen Zustand des Tragwerkmodells mechanische Ersatzmodelle (Mehrkörpermodelle bzw. Finite Elemente Modelle) erstellt. Das Einsturzverhalten des Gebäudes kann dann visuell dargestellt werden [BRE99].

Mehrzonen Gebäudedurchströmungen können mit dem System **COMIS** der **Lawrence Berkeley National Laboratory** simuliert werden [COM97]. Simulationen von Be- und Entlüftungsanlagen sowie die Rauchausbreitung in Gebäuden können mit **FLOVENT / FLOTHERM** der Firma **Flomerics Ltd.** durchgeführt werden.

Das Überprüfen von Gebäuden bezüglich ihrer Behindertentauglichkeit ist ein weiteres Anwendungsfeld der Simulationstechnik. Am **Center for Integrated Facility Engineering** der **Stanford University** wurde ein System entwickelt, das es ermöglicht, Gebäude auf Rollstuhltauglichkeit zu überprüfen [HAN00a].

Durch das breite Anwendungsgebiet von Simulationsprogrammen können die aufgeführten Beispiele nur **unvollständig** sein. Trotz der Vielzahl und Vielfalt wird ein Problem beim Einsatz der Systeme deutlich: Durch die beschränkte Integrationsfähigkeit der Systeme wird der Einsatz zeit- und kostenaufwändig. Lediglich neuere Entwicklungen, wie die Rollstuhlsimulation von der Stanford University beziehen sich auf **Produktdatenmodelle** und beschränken damit den Informationsverlust auf ein Minimum.

3.1.2.7 Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung

Die **Ausschreibung, Vergabe** und **Abrechnung** von Bauleistungen (AVA) umfasst die computergestützte Bauleistungsbeschreibung, die Kostenerfassung und die Termin- und Bauzeitplanung. Selbst in kleineren Architektur- und Ingenieurbüros haben sich AVA-Systeme durchgesetzt. Je nach Bürostruktur und –größe werden die Daten auf Einzelrechnern, auf vernetzten PCs oder auf Zentralrechnern gehalten. Die Systeme verwalten mit Hilfe von Datenbanksystemen große Mengen von **alphanumerischen Daten** und **Bildinformationen.**

In Internetzeitalter übernehmen die AVA-Systeme zusätzlich Kommunikationsfunktionen. Abbildung 3.6 zeigt ein mögliches Szenario. Ein Planungsbüro verschickt per **E-mail** Ausschreibungstexte an mehrere Anbieter (Ausschreibungsleistungsverzeichnis). Die **Angebote** werden ebenfalls per E-mail an das Planungsbüro zurückgeschickt. Die Angebote werden mit Unterstützung der AVA-Systeme geprüft, nachgerechnet und ausgewertet (Preisspiegel). Darauf erfolgt die Vergabe an den günstigsten Anbieter (Auftragsleistungsverzeichnis). Während bzw. nach der Bauausführung werden die Kosten unter Berücksichtigung von eventuellen **Nachträgen teilweise** bzw. **komplett abgerechnet.**

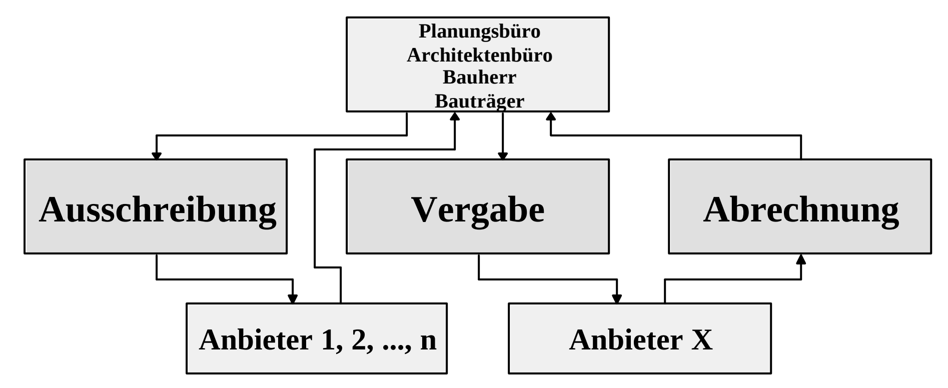


Abb. 3.6: Datenfluss zwischen Auftraggeber und Anbietern

Viele AVA-Systeme bieten die Möglichkeit Massenermittlungen aus dem CAAD-System zu übernehmen. **ALLRIGHT** der **Nemetschek AG** bildet mit Allplan eine durchgängige Lösung, **CADdy++ AVA** der **Ziegler GmbH** ist bidirektional mit **CADdy++ Architektur** verbunden und **AVA plus** der **Futura GmbH** bietet mit dem **Modul DA-SH** (Data-Sharing) eine bidirektionale Verzahnung mit CAAD-Systemen (z. B. Architectural Desktop) an. Die Massenermittlung kann **raum-, bauteil-** oder **elementenbezogen** erfolgen [MU199].

Ausschreibungstexte, Preise und **Vertragsbedingungen** können bei fast allen Systemen von **Datensammlungen** (online oder CD-ROM) entnommen werden (siehe Abschnitt 3.1.2). Das Ausschreibungsleistungsverzeichnis kann zum Beispiel mit Texten des **STLB** (Standardleistungsbuch), des **HeinzeBauOffice** oder **sirAdos** Texten erstellt werden. Die Kostenberechnung erfolgt nach **HOAI** oder **DIN276** und wird ebenfalls durch Datensammlungen unterstützt.

Der Datenaustausch zwischen den AVA-Systemen kann im einfachsten Fall über Zugriffe auf eine **gemeinsame Datenbank** oder über **ASCII-Dateien** durchgeführt werden. Die Datenverknüpfung und –zuweisung kann manuell oder mit Hilfe von Scripten erfolgen. Bereits 1985 hat der **Gemeinsame Ausschuß Elektronik im Bauwesen (GAEB)** eine Regelung für den Datenaustausch zwischen AVA-Systemen festgelegt. Die Vorteile eines festgelegten Regelwerkes sind die schnelle Weitergabe und Auswertung der Daten und die Verminderung bzw. die Vermeidung von Eingabefehlern. Es gibt drei Versionen von den GAEB-Datenaustauschformaten: **DA 1985** (wird nicht mehr unterstützt), **DA 1990** (die aktuelle Version) und **DA 2000** (die zukünftige Version). Die **DA 1990** ist in sechs **Datenaustauschkennungen (KE)** unterteilt: **KE 81/82** für den Austausch von Leistungsverzeichnissen zwischen Architekt und Ingenieur, **KE 83** für die Angebotsaufforderung, **KE 84** für die Angebotsabgabe, **KE 85** für Nebenangebote und **KE 86** für die Auftragserteilung. Das GAEB-Datenaustauschformat DA 1990 wird von der Mehrzahl der AVA-Systeme in nahezu komplettem Umfang unterstützt [MU199].

Die Unterstützung des **IFC** oder **STEP Produktdatenmodells** ist bei keinem der Systeme realisiert. Dennoch zeigen sich einige AVA-Anbieter, die nicht direkt an ein CAAD-System angebunden sind, daran interessiert, die Massen mit Hilfe von IFC zu bestimmen und das Produktmodell um ausschreibungs- und kostenrelevante Daten zu ergänzen.

3.1.2.8 Visualisierung / Virtual Reality

Die Visualisierung von Gebäuden wird im Moment in zwei Bereiche unterteilt:

- die photorealistische Darstellung mit Raytracing **(Visualisierung),**
- die schattierte Darstellung für eine Echtzeitbegehung **(Virtual Reality).**

Mit steigenden Rechen- und Graphikleistungen werden sich beide Bereiche annähern. Effekte, die zur Zeit nicht in Echtzeit ausgeführt werden können (z. B. beliebige Lichtquellen, Kerzen, Feuer usw.), werden in Zukunft auch in VR verfügbar sein. Abbildung 3.7 zeigt eine Szene, die mit einem Raytracing Verfahren gerendert wurde (links, Renderzeit 12 min) und die selbe Szene einfach schattiert (rechts, Renderzeit < 1 sec).




Abb. 3.7: Beispiel einer gerenderten Szene (links mit Raytracing, rechts einfach schattiert)

Viele CAAD Anbieter haben auch ein Visualisierungswerkzeug in der Produktpalette. **Autodesk** bietet mit **3D-Studio VIZ** ein Modellierungs- und Visualisierungswerkzeug speziell für die Architektur. Die **Nemetschek AG** erweitert mit **Cinema 4D,** einem Produkt der **MAXON Computer GmbH,** sein Produktportfolio. **Graphisoft** setzt **ART*LANTIS** zur Erzeugung von photorealistischen Bildern ein und die **RIB GmbH** benutzt **DIAMO** zur Präsentation des Gebäudemodells. Alle Systeme können die 3D-Modelle des jeweiligen CAAD-Systems direkt übernehmen und bearbeiten. Neben photorealistischen Bildern bieten alle Produkte die Möglichkeit, Objekte und Kameras zu animieren und Filmsequenzen aufzuzeichnen. **ARCON** von der **MB Software AG** bietet diese Möglichkeit im System integriert. Ein schneller Renderer ermöglicht in **ARCON** bereits das Begehen des virtuellen Gebäudes.

Virtual Reality Systeme versuchen, die Szenen möglichst in Echtzeit darzustellen. Dabei werden die Szenen nicht in höchster Qualität gerendert. Um auch bei großen Modellen ausreichende Bildwiederholraten zu erreichen, sind entsprechende Verfahren nötig. Verschiedene Methoden von **„Level of Details“ (LOD)** ermöglichen es, Objekte abstandsabhängig in verschiedenen Detaillierungsstufen darzustellen oder ganz auszublenden. Die Unterstützung von Renderstandards, wie **Performer** und **OpenGL** ermöglichen auf den entsprechenden Workstations (auch Personal Computer) eine hohe Rendergeschwindigkeit.

Virtual Reality bedeutet nicht nur das schnelle Darstellen von Szenen, sondern auch das Interagieren und das Eintauchen (Immersion) in die Szene. Für die Interaktion mit der Szene werden 6-achsige Eingabegeräte, wie zum Beispiel die **Space-Mouse,** ein magnetisches **Tracking System** oder **Datenhandschuhe** eingesetzt. Eine

Interaktion kann eine Bewegung des Akteurs in der virtuellen Welt bedeuten oder das Manipulieren von Objekten. Bei der Darstellung der Szene soll der Akteur den Eindruck erhalten, sich in der Szene zu befinden. Ein **dreidimensionaler Eindruck** wird durch das Erzeugen von zwei Kameraansichten mit mittlerem Augabstand und einem Schielwinkel erreicht. Die Ansichten werden mit **Shutter-Brillen** oder mit **Polarisationsfiltern** dem jeweils richtigen Auge zugeführt. Je nach Betrachter und Betrachterstandort entsteht ein mehr oder weniger guter 3D-Eindruck. Ein weiterer Aspekt für das Eintauchen in die Szene ist das Größenverhältnis. Das Objekt sollte möglichst im **Originalmaßstab** erscheinen. **Head Mounted Displays, Großprojektionswände** und **Rundumprojektionen** ermöglichen das Eintauchen in die Szene.

Virtual Reality Systeme bestehen in der Regel aus zwei Teilen: einem **Szenen-Editor** und einer **Realtime-Umgebung.** Der Szenen-Editor importiert die Geometrie aus CAD- oder Modellierungssystemen, positioniert die Objekte und ergänzt die Szenen mit Texturen, Level of Detail, Lichtquellen usw. Die Realtime-Umgebung optimiert die Szene, um ein möglichst schnelles Rendern zu ermöglichen. Eine Anwenderschnittstelle (API) gibt Entwicklern die Möglichkeit, eigene Anwendungen zu integrieren. Ein- und Ausgabegeräte, wie Spacemouse, Head Mounted Displays usw., werden von den meisten Systemen standardmäßig unterstützt.

Die **REALAX AG** bietet mit dem **VR-Studio** einen Szenen-Editor und eine Realtime-Umgebung an, die auf Silicon Graphics Workstations und auf PC unter WindowsNT lauffähig sind. **RealiMation VSG** besteht aus folgenden Komponenten: **RealiMation STE, RealiMation SDK, RealiStorm** und **RealiNet.** STE ist der Szenen-Editor, SDK ist die Softwareumgebung zur Entwicklung von eigenen Anwendungen, RealiStorm sind Plug-Ins für 3D-Studio, AutoCAD usw. und RealiNet ist ein Werkzeug für verteilte VR-Anwendungen. Weitere Systeme sind **SentAX** von der **Princess Interactive Software GmbH, WorldToolKit** von **Engineering Animation, Inc., MultiGen Creator** und **Vega** von **MultiGen-Paradigm** und Forschungssysteme, wie zum Beispiel **LIGHTNING** vom **Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO).**

Alle Systeme können verschiedene Formate importieren. Soll ein Gebäudemodell nicht nur dargestellt werden, sondern dem Betrachter Informations- und Interaktionsmöglichkeiten bieten, ist ein hoher Nachbearbeitungsaufwand nötig. Materialien und Texturen müssen zum Teil neu vergeben werden. Die Anzahl der Polygone muss unter Umständen reduziert werden. Die Modellhierarchie muss gegebenenfalls modifiziert und externe Referenzen eingefügt werden. Levels of Detail müssen definiert werden. Bewegungen und Animationen müssen beschrieben werden. Die automatische oder teilautomatische Ableitung dieser Szenenparameter ist aufgrund fehlender Semantik in den Geometriemodellen nicht möglich.

3.1.2.9 Computergestützter Modellbau

Der computergestützte Modellbau wird seit einiger Zeit erfolgreich angewandt. Grundlage dafür ist die vollständige und korrekte Beschreibung der Produkte in einem 3D-System. Die Fertigungsdaten können dann direkt von dem Modell abgeleitet und die Modelle **abtragend** oder **generativ** erzeugt werden.

Abtragende Verfahren, wie das Fräsen, können für das Erstellen von Landschaftsmodellen eingesetzt werden [STR96]. Für anschauliche Gebäudemodelle können Wände und Dächer einzeln aus Holzplatten **gefräst** und zusammengesetzt werden. Die Fräsprogramme werden aus den vorhandenen Geometriemodellen erzeugt. Die Preise für solche Modelle beginnen bei ca. 2000 DM für ein einfaches Haus.

Das bekannteste generative Verfahren ist die **Stereolithographie.** Prinzipiell wird dabei ein flüssiges Harz (Monomer) durch ultraviolette Bestrahlung verfestigt (Polymer). Die Stereolithographiemaschine besteht aus einem Laser, einer Umlenkeinrichtung, einem Vorratsbehälter für das flüssige Harz und einer in z-Richtung verschiebbaren Bauplattform. Der Aufbau des Modells erfolgt bei der Stereolithographie Schicht für Schicht. Der Laser belichtet eine entsprechende Schicht und verfestigt das Material. Die Bauplattform bewegt sich um die Schichtdicke nach unten und die nächste Schicht kann verfestigt werden. Die Schichtdicken sind anwendungsabhängig kleiner als 1 mm, d. h. die Maschinenbelegungszeit ist signifikant von der Höhe des Modells abhängig.

Stereolithographie lässt sich nur effektiv einsetzen, wenn bereits korrekte **3D-Volumenmodelle** vorliegen. Für einfache Modelle ist das Verfahren zu teuer. Lediglich bei komplexen Architekturmodellen mit vielen Details, wie zum Beispiel bei historischen Bauwerken, ist die Stereolithographie vorteilhaft einzusetzen. Ein Beispiel ist die Frauenkirche in Dresden. Durch die umfangreiche, detaillierte Computerrekonstruktion (durch IBM) liegt ein komplettes 3D-Modell der Frauenkirche vor. Abbildung 3.8 zeigt das Komplettmodell der Frauenkirche im Maßstab 1:1000 und das Detailmodell eines Eckturms im Maßstab 1:100 [GEB96].

Der computergestützte Architektur Modellbau kann einen Beitrag zur Modellerstellung leisten. Je nach Modelltyp (Ideen-, Arbeits- und Präsentationsmodell [STR96]) sind unterschiedliche Verfahren möglich und notwendig. Es ist deshalb abzuwägen, welche Verfahren eingesetzt werden. Eine Kombination von klassischen und computergestützten Methoden (sogenannte **„Hybridmodelle“)** kann oft eine schnelle, kostengünstige Alternative sein.

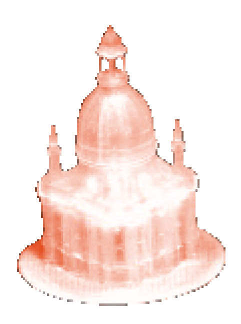
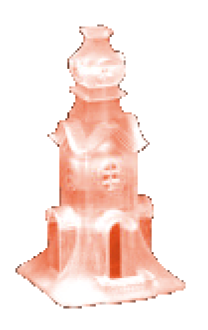



Abb. 3.8: Frauenkirche zu Dresden (links Komplettmodell 1:1000, rechts Eckturm 1:100) [GEB96]

3.1.2.10 Vermessung / Reverse Engineering

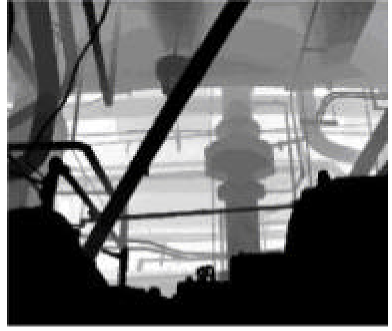
Reverse Engineering bedeutet in diesem Kontext die Erzeugung von 3D-Geometrien auf der Basis von 3D-Messdaten. In der Automobilindustrie werden manuell erzeugte oder modifizierte Prototypen mit 3D-Messsystemen und **Reverse Engineering** Werkzeugen in CAD-verarbeitbare Modelle überführt [HAE96]. Der Prozess erfolgt manuell oder teilautomatisiert. Eine vollständig automatische Erkennung von geometrischen Merkmalen, wie zum Beispiel Zylinder, Kegel und Tori, ist noch nicht möglich [SAC00].

Im Bauwesen kann Reverse Engineering in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden:

- Vermessung von Industrieanlagen,
- Vermessung von Gebäuden,
- Vermessung von Städten.

Das Vermessen von Industrieanlagen kann für eine sogenannte „As Built“ Anlagendokumentation aus rechtlichen oder technischen Gründen notwendig werden. Als Messsysteme kommen hier **Theodoliten, Photogrammetrie** oder **Laser** zum Einsatz [RIE99]. Die Messsysteme liefern 3D-Punktdaten, die meistens nicht nur auf ein Koordinatensystem bezogen sind. Nach der Verschmelzung der einzelnen Ansichten können Geometrieelemente erzeugt werden.

Das Laservermessungssystem **LARA** von **Zoller+Fröhlich** nimmt Abstands- und Intensitätsbilder auf. Mit einer Messung können je nach Typ horizontal 3600 und vertikal 300 mit einer Genauigkeit von circa 3 mm erfasst werden. Die Verschmelzung der einzelnen Ansichten und die Erzeugung der 3D-Geometrie erfolgt teilautomatisiert. Die erzeugten Geometrieelemente können als **IGES** oder im **ACIS** Format weitergegeben werden. Abbildung 3.9 zeigt das Tiefen- und Reflektionsbild einer mit LARA aufgenommenen Szene. Rechts ist das CAD-Modell als Drahtmodell dargestellt.



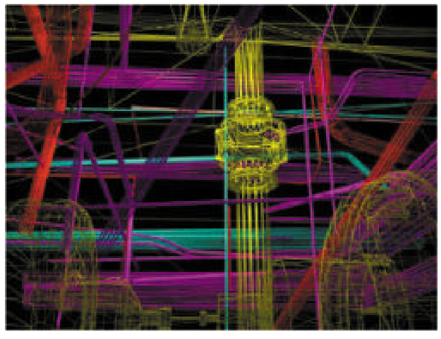


Abb. 3.9: Tiefen-, Reflektivitätsbild und CAD-Modell einer mit LARA aufgenommenen Szene

Das System erfordert hohe Investitionen und geschultes Personal. **UK Robotics** bietet deshalb das Vermessen inklusive der Geometrieerzeugung als Dienstleistung an. Referenzprojekte von **UK Robotics** sind die Vermessung und Modellierung einer Montagestrasse bei VOLVO und einer petrochemischen Anlage in Kasachstan. Die Firma **Quantapoint** in den USA bietet ähnliche Dienstleistungen an. Referenzprojekte sind hier Kirchen, Bankgebäude und Kaufhäuser. Abhängig von der Umgebung entfallen dabei 10% der Zeit auf die Vermessung vor Ort und 90% auf die Modellierung im Büro.

Bestandsaufnahmen von kleineren Objekten (Ein- oder Mehrfamilienhäuser, historische Altstädte) für die Umbau- bzw. Sanierungsplanung mit dieser Technik sind nicht bekannt. Eine Bestandsaufnahme erfolgt hier in der Regel einfach durch manuelles Nachmessen. Die Ergebnisse werden in Grundrissen und Schnitten dargestellt. Ein dreidimensionales Modell wird nicht erstellt.

Wohngebiete und Städte können auf der Basis von Luftbildern mit hoher Auflösung rekonstruiert werden. Die **ETH Zürich** kann mit dem Programm **ARUBA** (Automatic **Reconstruction** of Sub-Urban **Building** from **Aerial** Images) Haus- und Dachform automatisch extrahieren und auf ein digitales Geländemodell projizieren [HEN96].

Gebäude können auf der Basis von digitalen Bildern rekonstruiert werden. Das System **DIPAD** von der **ETH Zürich** vereinigt Methoden der digitalen Photogrammetrie mit Möglichkeiten eines CAD-Systems. Die Topologie des Gebäudes wird von einem CAD-System (hier AutoCAD) grob vorgegeben. Mit Hilfe der digitalen Bilder wird das Modell verfeinert. Dabei kann eine Genauigkeit von bis zu 1,5 cm erreicht werden. Beispiele der ETH zeigen lediglich die Rekonstruktion der äußeren Fassaden von Gebäude. Die Rekonstruktion von Innenräumen wird nicht erwähnt [STR98].

3.1.2.11 Facility Management

Facility Management wird seit Ende der 70er/Anfang der 80er Jahre in den USA vorwiegend während der Nutzungsphase von Gebäuden eingesetzt. In Deutschland wurden Ende der 80er Jahre erste Arbeiten veröffentlicht, die den Einsatz von Facility Management nicht nur auf die Nutzungsphase beschränken, sondern auch andere Lebensphasen eines Gebäudes berücksichtigen. Mit dem Begriff **„Integriertes Facility Management“** wird versucht, den gesamten Bauprozess, von der Initiierung bis zum Abriss, ganzheitlich zu betrachten und zu managen [KAH99].

Der Einsatz von kommerziellen Facility Management Systemen **(CAFM - Computer Aided Facility Management)** steht erst am Anfang und konzentriert sich auf die Nutzungsphase des Gebäudes. Schätzungsweise 20% der Gebäudenutzer und Gebäudeeigentümer (Immobilienbetreiber) setzen CAFM Systeme ein. Neben den Kosten für die Softwarelizenzen sind auch Kosten für Beratungs-, Integrations- und Wartungsdienstleistungen zu berücksichtigen. Das Angebot an CAFM-Systemen ist groß. Die **GEFMA** (German **Facility Management Association)** verzeichnet 44 Systeme in ihrer Marktübersicht [LOD00]. Branchenübergreifend (z. B. Verkehr) sind die Schätzungen weit höher (ca. 180 Systemanbieter).

Die Auswahl eines Systems hängt von den **Anwendern,** zum Beispiel Nutzer, Dienstleister, Eigentümer usw., von der **Anwendung** (Technik, Infrastruktur, kaufmännischer Bereich) und von der **Nutzungsart bzw. Gebäudeklasse** (Wohnhaus, Krankenhaus usw.) ab. Das System muss in der Lage sein, alle notwendigen Arbeitsabläufe, wie Instandhaltung, Reinigung, Verwaltung usw., abzubilden. Nur durch die genaue Analyse aller Arbeitsabläufe und Prozesse und deren Abbildung in einem CAFM-System können Kosten analysiert und reduziert werden.

Viele Anbieter von CAAD-Systemen bieten in ihren Produktportfolios auch CAFM-Systeme an. Beispiele sind **ALLFA FT** von **Nemetschek, Spirit FM** von **MB Software** und **ArchiFM 2000** von **Graphisoft.** Diese Systeme können 2D und 3D Geometriedaten und zusätzliche Informationen wie Raumbuch, Inventar usw. aus dem entsprechenden CAD-System übernehmen und weiterverarbeiten. Zusätzlich bieten die meisten Systeme neutrale Geometrieschnittstellen, hauptsächlich DXF und DWG, an. Pixelbilder können in verschiedenen Formaten importiert werden. Textuelle Informationen im ASCII Format oder direkt aus Textverarbeitungssystemen und alphanumerische Daten aus Tabellenkalkulationsprogrammen und Datenbasen können direkt übernommen werden. Die Daten können in Form von Tabellen, Diagrammen, Zeichnungen, Formularen ausgewertet, dargestellt, gedruckt und exportiert werden. Einige Programme bieten durch eine Anwenderschnittstelle (C, C++, Java) individuelle Anpassungsmöglichkeiten.

Ein wichtiger Aspekt bei CAFM-Systemen ist die **Internet- bzw. Intranetfähigkeit.** Fast alle Systeme bieten die Möglichkeit, Informationen in einem Internetbrowser darzustellen, zu modifizieren und zu erzeugen. Zugriffsberechtigungen verhindern den Missbrauch der Daten [MU299].

CAFM-Systeme bieten bei richtigem Einsatz große Rationalisierungs- und Einsparpotentiale. Die Nutzung von Facilty Management über den gesamten Lebenszyklus ist erst in der Anfangsphase. Dieses Integrale Facility Management umfasst das Managen des Zusammenwirkens aller beteiligten Partner über den gesamten Lebenszyklus, der Zustandsänderungen in allen Lebensphasen und der erforderlichen Informations-verarbeitungssysteme [KAH99]. Das bedeutet, **Integrales Facility Management** übernimmt die Aufgaben des **klassischen Facility Managements** (Nutzungsphase), des **Produktdatenmanagements** und des **Workflow Managements.**

3.1.3 Fazit

Im Bauwesen stehen für fast alle Bereiche eine **Vielzahl** von **Softwarelösungen** zur Verfügung [MU199, MU299, MUO00]. Viele dieser Softwarelösungen werden isoliert betrachtet und sequenziell eingesetzt. Laut Prof. Junge, Universität München, wird „im Laufe der Planung bis zur Ausführung und Abrechnung heute jedes tragende Bauteil mindestens **sechs Mal neu** in eine Datenverarbeitung **eingegeben“** [IFC00]. Neben einem hohen Zeitaufwand ist mit dieser Arbeitsweise auch ein enormes Fehlerrisiko verbunden.

Werden Daten ausgetauscht, kommen direkte Schnittstellen oder Quasistandards wie **DXF** oder **DWG** zum Einsatz. Direkte Schnittstellen liefern in der Regel bessere Austauschergebnisse, erfordern aber für jede Systemkombination eigene Schnittstellenprozessoren und eine hohe Offenheit der Systeme. Mit DXF und DWG können nur Geometriedaten mit einigen Attributen übertragen werden. Der **Informationsverlust** ist gerade beim Arbeiten mit Objekten **enorm.**

Trotz unterschiedlicher Strukturen gibt es Parallelen zwischen dem **Bauwesen** und der **Automobilindustrie.** Selbst große Systemhäuser, wie **Nemetschek, Graphisoft** und **Autodesk,** versuchen zwar alles aus einer Hand zu bieten, sind sich aber durchaus bewusst, dass nur **neutrale Produktdaten** zukünftigen Anforderungen gerecht werden. Alle drei Firmen liefern ihre Systeme standardmäßig mit zertifizierten **IFC** Prozessoren aus. Nur auf diese Weise können die jeweils **besten Systeme** für eine spezifische Anwendung optimal eingesetzt werden.

Mit **IFC** hat die **IAI** (International Alliance for Interoperability) ein integrales Produktdatenmodell entwickelt, das von Anfang an von der Industrie unterstützt wurde und im Gegensatz zu **STEP** durch den Verzicht auf Normung eine hohe Dynamik zeigt. Für die Version 1.51 gibt es zertifizierte Prozessoren, die Version 2.x ist bereits definiert und die Version 3.0 ist in Entwicklung. Mit der **aktuellen Version 1.51** lassen sich alle für den **Rohbau** relevanten Daten austauschen.

Neben den CAAD-Anwendungen scheint das Interesse an Produktdaten in den Bereichen **AVA, Statik** und **Stahlbau** am größten zu sein. Die Übernahme von „intelligenten 3D-Objekten“ kann hier die Dateneingabe erheblich erleichtern und reduzieren. Andere Bereiche wie **Modellbau** und **Virtual Reality** sind dagegen noch wenig am Produktdatenaustausch interessiert.

Das **Produktdatenmanagement** spielt im Bauwesen heute kaum eine Rolle. Hauptsächlich größere Ingenieurbüros setzen **Dokumentenverwaltungs-** und zum Teil **Workflow Managementsysteme** ein. Dabei werden lediglich Dateien verwaltet, Zugriffsberechtigungen überprüft und zeitliche Abläufe gesteuert. Eine Verknüpfung auf der Informationsebene findet kaum statt. Die Verschmelzung von **Produktdatenmanagement, Workflow Management** und **Facility Management** zum **integralen Gebäudemanagement** ist noch nicht realisiert.

3.2 Automatisierte Fertigung

Bei der gegenwärtig zumeist anzutreffenden Bauweise bei Wohnbauten werden auf der Baustelle

- die Vorbereitung und Erschließung des Bauplatzes,
- die Erdarbeiten,
- der Rohbau und
- der Ausbau

ausgeführt, wobei für Roh- und Ausbau die wesentlichen Kosten und Arbeitszeitaufwendungen entstehen (s. Abschnitt 4.3.1). Rationalisierungsansätze konzentrieren sich daher vor allem auf diese beiden Bereiche. Hierbei lassen sich zwei grundlegende Ansätze unterscheiden: 1. Verwendung von Fertigteilen und Reduzierung der Baustellentätigkeit auf Montagearbeiten und 2. Mechanisierung und Automatisierung der Baustellenfertigung. Beide Ansätze sind eher komplementär als konkurrierend, da zum einen selbst bei hohem Vorfertigungsgrad zumindest Montagearbeiten auf der Baustelle auszuführen sind, zum anderen der zu erzielende Automatisierungsgrad bei der Baustellenfertigung durch technologische und wirtschaftliche Randbedingungen zumindest gegenwärtig vergleichsweise niedrig ist.

Für den Umbau und die Sanierung von Altbauten trifft dies im Wesentlichen auch zu. Im Unterschied zum Neubau sind aber Einschränkungen sowohl für die Verwendung von Fertigteilen als auch den Einsatz von Baurobotern und anderen automatisierten Baumaschinen stärker. Dies resultiert im Wesentlichen aus den vorgegebenen Strukturen, z. B. Bauweise und -materialien, Maße, Zugänglichkeit. Daher lassen sich kaum relevante Projektbeschreibungen in der Literatur bzw. am Markt verfügbare spezielle Geräte, spezielle Baukomponenten usw. finden. Im Folgenden werden Entwicklungsstand und -tendenzen beider Rationalisierungsansätze daher vorwiegend in Hinblick auf den Neubau analysiert.

3.2.1 Automatisierungsgerechte Konstruktion

3.2.1.1 Bauweisen

Für die Rohbauerstellung ist eine Unterscheidung nach der Bauweise und -materialien sinnvoll. Im Montagebau lassen sich drei Bauweisen unterscheiden [KOT87]:

- Die **Skelettbauweise** beruht auf einer tragenden Konstruktion aus Stützen und Riegeln, auf die die raumabschließenden, nichttragenden Wände und Decken montiert bzw. aufgelegt werden.
- Bei der **Tafelbauweise** haben die Wände und Decken eine statisch-konstruktive und raumabschließende Funktion.
- Bei der **Raumzellenbauweise** werden komplette Raumelemente als tragende, in sich abgeschlossene räumliche Einheiten vorgefertigt und montiert.

Alle drei Bauweisen können in Massiv- oder Leichtbauweise verwirklicht werden.

Bei der **Skelettbauweise** kann die tragende Konstruktion z. B. aus Stahlbeton, Stahl oder Holz bestehen, die Ausfachung kann mittels Mauersteinen, Metall- oder Holzpaneelen erfolgen. Abb. 3.10 zeigt ein Beispiel für die Stahlskelettbauweise.

Neben den Elementen für die tragende Konstruktion kann auch die Ausfachung z. B. aus Verbundmaterialien vorgefertigt werden. Dabei lassen sich verschiedenste Grundrisse ohne wesentliche Einschränkungen planen und mit annähernd gleichem Aufwand realisieren. Eine Änderung der Raumaufteilung ist während der Nutzung ebenfalls relativ leicht zu verwirklichen, da es keine tragenden Wände gibt. Im Vergleich zu den anderen Montagebauweisen ist der Arbeitsaufwand auf der Baustelle relativ groß.

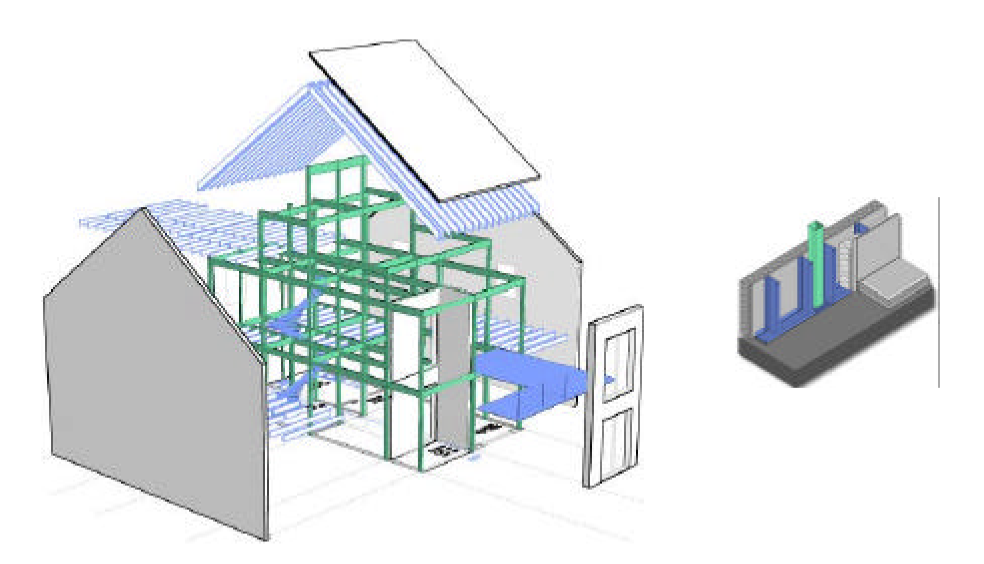


Abb. 3.10: Stahlskelettbau: Gesamtansicht (links), Wandaufbau (rechts) (Quelle: Richter System GmbH)

Die Wandtafeln bei der **Tafelbauweise** können als Groß- und Kleintafeln gefertigt werden. Die Großtafeln sind zumeist raumgroß, so dass die Elemente nur an den Raumecken aneinander stoßen. Ein Beispiel für die Tafelbauweise zeigt die Abb. 3.11. Als Materialien werden Normal- oder Leichtbeton, Mauerwerkssteine oder Holz eingesetzt.

Die Wand- und Deckentafeln können bereits für die Installations- und Ausbauarbeiten vorbereitet sein, z. B. durch Kanäle oder Leerrohre, oder bereits Einrichtungen wie z. B. Elektro- und Wasserleitungen, Wandheizungen, Fenster, Türen enthalten. Ebenfalls kann in der Vorfertigung eine Dämmung und Putz aufgebracht werden. Damit verringert sich der Aufwand an notwendigen Ausbauarbeiten auf der Baustelle erheblich. Problematisch ist zum einen die Realisierung individueller Grundrisse, die vor allem höhere Anforderungen an die Vorfertigung, insbesondere an die Fertigungsplanung, stellt und hier zumindest gegenwärtig zu relativ hohen Herstellungskosten führt. Zum anderen sind die Anforderungen an die Transport- und Baustellenlogistik erheblich.



Abb. 3.11: Wandelemente bei der Tafelbauweise (Quelle: Dennert KG)

Bei der **Raumzellenbauweise** ist das Prinzip der werkseitigen Vorfertigung am weitesten verwirklicht. Das Konstruktionsprinzip verdeutlicht Abb. 3.12. Die Raumzellen können aus Beton, Metall, Holz oder in Verbundkonstruktionen gefertigt sein. Ihre maximalen Abmaße ergeben sich aus den Transportbedingungen (maximale Straßenbreite und Durchfahrtshöhe). Größere Räume werden aus mehreren Raumzellen gebildet. Die Raumzellenbauweise erlaubt den annähernd vollständigen Innenausbau im Werk, so dass sich auf der Baustelle die Arbeiten im wesentlichen auf die Montage beschränken. Anwendung findet die Raumzellenbauweise vor allem bei kleinen (z. B. Garagen) oder hochinstallierten Räumen (z. B. Sanitärzellen) sowie temporären Gebäuden (z. B. Bauunterkünfte). Bei letzteren werden häufig Container-Raumzellen eingesetzt, die auf die genormten ISO-Container zurückgehen. Darüber hinaus werden Raumzellen bei typisierten Gebäuden (wie Krankenhäuser, Schulen, Verwaltungsgebäuden) eingesetzt. Die Realisierung individuell geplanter Wohngebäude mit Raumzellen erscheint zumindest derzeit nicht zu konkurrenzfähigen Preisen möglich.

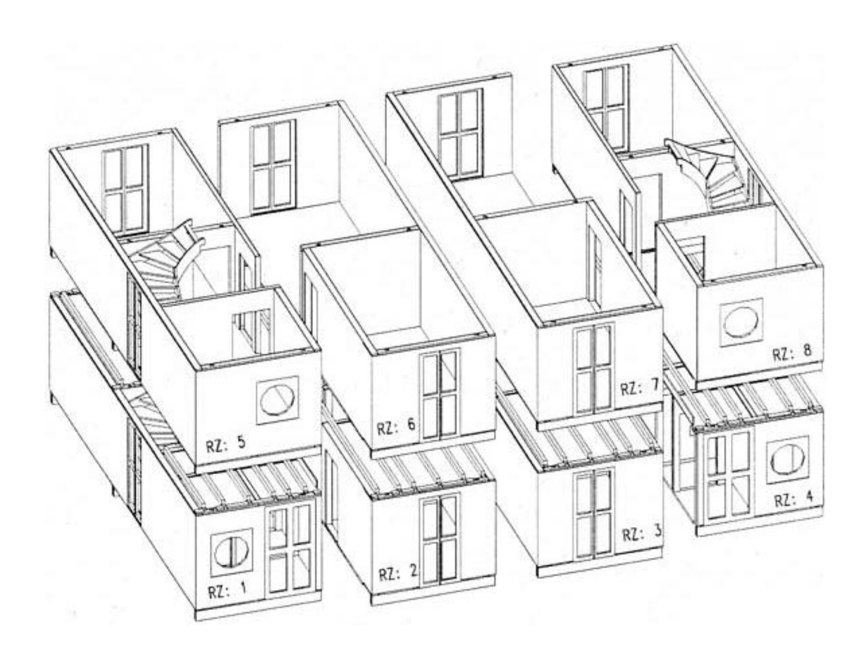


Abb. 3.12: Raumzellenbauweise (Quelle: Meisterstück Baukmeister GmbH)

3.2.1.2 Automatisierungsgerechter Entwurf

Ein automatisierungsgerechter Entwurf beinhaltet im weiteren Sinne die Entscheidung für eine Bauweise und Materialien, die eine automatisierte Vorfertigung und die Automatisierung der Montage auf der Baustelle begünstigen. Allgemeine Grundlagen sind im Rahmen des industriellen Bauens in den vergangenen Jahrzehnten entwickelt worden [KOT84, WEL85, WEL89]. Diese sind allerdings im Hinblick auf die Umsetzung individueller Entwürfe, also bei sehr kleinen Losgrößen, zu überdenken.

Im engeren Sinne wird unter einem automatisierungsgerechten Entwurf verstanden, Bauwerkskomponenten so zu gestalten, dass sie vorgefertigt werden können und ihre Montage durch Roboter oder Baumaschinen erfolgen kann. Wichtige Aspekte dabei sind [BRI93, ATK99a, PRO98]:

- Bauteilgröße (kleine Grundmodule wegen der Handhabbarkeit und leichterer Standardisierung bei großer Flexibilität),
- Bauteilbeschreibung (Abbildung geometrischer, funktionaler, physikalischer Eigenschaften und Beziehungen in Produktmodell),
- Bauteilhierarchie (hierarchische Gliederung des Gebäudes mit dem Ziel einer Produkthierarchie, vereinfachte Planung, Standardisierung und Schnittstellenfestlegung, Abbildung in objektorientiertem Produktmodell),
- Standardisierung und Modularität (Kombination weniger, einfacher Elemente zur Erzielung gewünschter Funktionalität, normierte Schnittstellen),
- Fügetechnologie (Abstimmung von Bauteilgestaltung und Fügetechnologie, passive Selbstzentrierung),
- Genauigkeitssysteme (abgestimmte Genauigkeiten von Subsystemen).

In [SCO00] werden Projekte zum automatisierten Bauen unter Berücksichtigung des automatisierungsgerechten Entwurfs analysiert. Dabei wird festgestellt, dass Automatisierungsansätze zumeist auf konventionellen Bauprozessen aufsetzen (Bottom-Up-Stragie). Hingegen gibt es nur wenige Arbeiten, die vom Entwurf ausgehen, um zu Automatisierungslösungen zu kommen (Top-Down-Strategie). Diese beschränken sich im wesentlichen auf Projekte zur Entwicklung automatisierter Hochbausysteme in Japan (eine Übersicht über diese Systeme gibt [COU98]). Über konkrete Aktivitäten berichten [BOC88, BOC89, BOC90, SCO00]. Ein automatisierungsgerechter Entwurf und die Verwendung fortschrittlicher Fertigungstechniken beim Wohnungsbau mit dem Ziel der Automatisierung sind Schwerpunkte im von der Europäischen Kommission geförderten Programm FutureHome [ATK99b]. Auf dieses Programm wird im Abschnitt 3.2.4 noch näher eingegangen.

3.2.2 Automatisierung in der Vorfertigung

Wirtschaftliche Bedeutung besitzen die Vorfertigung von

- Wandelementen (aus Mauerwerksziegeln, Beton, Leichtbeton, Porenbeton, Holz),
- Deckenelementen (aus Beton, Mauerwerksziegel),
- Dachelementen (aus Beton, Leichtbeton, Porenbeton, Holz),
- speziellen Raumzellen (z. B. Sanitärzellen) und
- Sonderbauteilen (z. B. Treppen, Kleinelemente aus Beton).

Mauerwerkssteine könnten ebenfalls als vorgefertigte Elemente bezeichnet werden. Dies ist allerdings nur sinnvoll, wenn die Mauerwerkssteine nach der Herstellung weiter bearbeitet und für ein konkretes Bauvorhaben vorkonfektioniert werden. Hier ist neben dem Zusägen auf die benötigten Maße auch das Fräsen von Installationsschlitzen usw. denkbar. Damit würden manuelle Arbeiten auf der Baustelle in die Vorfertigung verlagert und ließen sich dort automatisieren.

Allerdings wird diese Möglichkeit der Vorfertigung kaum angewendet. Bspw. die Fa. Bausteine Briest produziert vorkonfektionierter Steine aus Blähton-Leichtbeton. Von der Fa. Bausteine Briest werden die Massenermittlung nach gelieferten CAD-Plänen, die Wandabwicklungen, die Erstellung von Schneideplänen und Geschosslisten sowie eine detaillierte Kostenkalkulation ausgeführt. Die Steine werden auf die benötigten Maße zugesägt und in der benötigten Reihenfolge palettiert und mit dem Versetzplan ausgeliefert. Ein solcher Ansatz verlangt eine gut organisierte Baustellenlogistik, die gegenwärtig zumeist nicht gegeben ist. Vermutlich ist dies ein Grund dafür, dass dieser Rationalisierungsansatz wenig Verbreitung hat.

Alternativ lassen sich Mauerwerksteine mit Installationskanälen herstellen, wie dies auch bereits für verschiede Materialien und Steinformate der Fall ist.

Das Vorkonfektionieren bringt bei größeren Wandelementen (raumhoch und z. B. 62.5 cm breit) eher Vorteile, da sich hier weit mehr Fertigungsschritte in der Vorfertigung durchführen lassen (z. B. Zusägen, Fräsen von Installationskanälen, Auflagern - s. Abschnitt 4.2) als bei kleinteiligen Mauersteinen. Zudem bleibt die Anzahl von Elementen überschaubar.

3.2.2.1 Herstellung von Betonfertigteilen

Bei der Herstellung von Betonfertigteilen kommen gegenwärtig die folgenden (teil-)automatisierten Maschinen und Anlagen zum Einsatz:

- Gleitfertigeranlagen,
- Extruder,

- Steinsägen,
- Palettenumlauffertiger,
- Betonmisch- und –verteilsysteme,
- Transport-, Stapel- und Lagersysteme,
- Schalungsroboter,
- Schweißroboter für Bewehrungen.

Gleitfertigeranlagen wie auch Extruder dienen zur Herstellung von Spannbeton-Hohlplatten. Sie sind relativ gut automatisierbar und werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Der Fertigungsprozess soll am Beispiel von UNIPAN-Spannbeton-Hohldeckenplatten skizziert werden (s. Abb. 3.13). Nach der Bespannung der 1.20 m breiten und 150 m langen Bahnen mit Spannstahllitzen wird der Beton mittels Gleitfertiger aufgebracht. Durch eine hohe Verdichtung des Frischbetons wird keine Schalung benötigt. Es entsteht die Decke in ihrer typischen Form in verschiedenen Höhen, aber immer mit gleicher Anzahl der Hohlräume. Ein EDV-gesteuerter Plotter trägt alle Angaben wie Länge, Schrägschnitt oder Aussparung auf dem Beton an. Nach Erreichen der Festigkeit werden die Elemente auf entsprechende Längen geschnitten und auftragsbezogen in der abgestimmten Montagefolge im Freilager gestapelt.





Abb. 3.13: Gleitfertiger für Spannbeton-Hohlplatten; links: Fertigungsanlage (Quelle: Fa. Universal-beton); rechts: Profil (Quelle: Fa. Brespa)

Die Herausforderung bei der Herstellung von Betonfertigteilen besteht in der vollständig automatisierten Fertigung von individuellen Fertigteilen beginnend mit der Übernahme der CAD-Daten.

Die SySpro-Gruppe, ein Zusammenschluss von Betonfertigteil-Herstellern, hat mit Hilfe der Reymann Technik GmbH Hockenheim eine weitgehend automatisierte Fertigung individuell geplanter Betonfertigteile (Wände, Decken, Dächer, Treppen) realisiert [REY99, NN00a, NN00b]. Das SySpro-spezifische CAD-System bildet das zentrale Element. Ausgehend von den konstruktiven Details und dem ausführungsgerechten CAD-Montageplan werden die Daten für Arbeitsvorbereitung, Produktionsplanung, Robotersteuerung, Lagerplatzverwaltung und Rechnungsstellung bereitgestellt. Für jedes Bauteil sind die Daten für Abmessungen, Zubehör, Bewehrung, Gewichte, Preise und Zeiten bis hin zu den Terminvorgaben im Computer hinterlegt und in jedem Arbeitsschritt und an jedem Arbeitsplatz jederzeit abrufbar. Die wichtigsten Arbeitsschritte sind:

- automatische Überprüfung aller Maße in Grundriss und Ansicht nach Eingabe in das CAD-System,
- Datenübertragung per EDV zwischen technischem Büro und Produktion,
- Programmierung der Roboter auf Grundlage der übertragenen Daten zur maßgenauen Positionierung der Schalungen, Einbauteile und Bewehrungslagen,
- automatische Betonverteilung bis zur errechneten Solldicke; Einhaltung der vorgegebenen Elementgewichte; automatische Betonverdichtung,
- geregelte Aushärtung der Bauteile unter optimalen Klimabedingungen,
- Abstimmung der Termine für Planung, Produktion und Montage mit Hilfe der Dispositionssoftware; Lieferung „just in time" und in baustellengerechten Montagefolgen,
- Umsetzung von Änderungswünschen des Kunden durch Dispositionssoftware möglich; Auskunft über die Änderungsmöglichkeiten und die damit verbundenen technischen, terminlichen und preislichen Konsequenzen.

Mit dem Problem der Qualitätssicherung bei der automatischen Fertigung von Betonfertigteilen durch Photogrammetrie beschäftigt sich [LUH99]. Das dort vorgestellte System vermisst ebene Fertigteile online aus Videobildern und vergleicht die Maße mit den CAD-Daten, die vom Prozessrechner zur Verfügung gestellt werden.

3.2.2.2 Herstellung von Wandelementen aus Mauerwerksziegeln

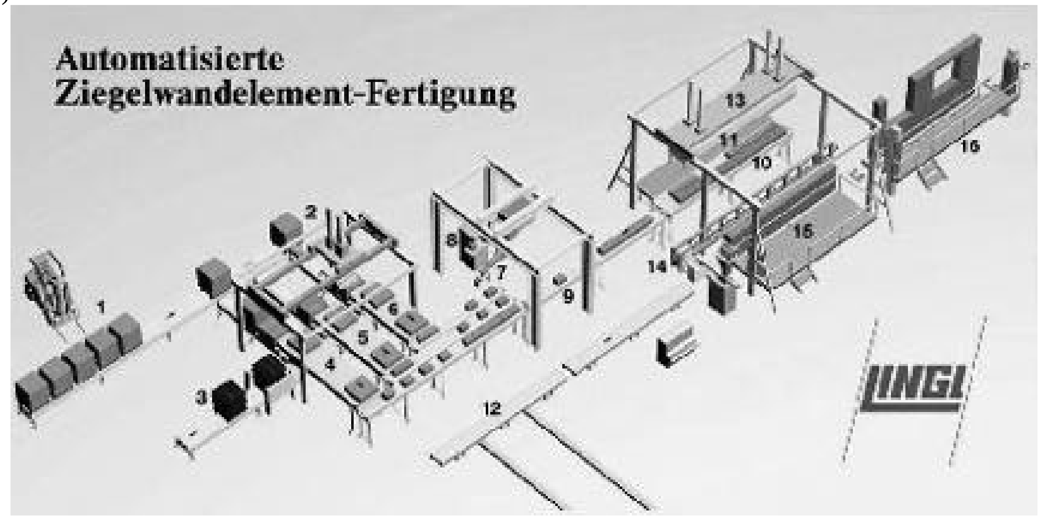
Zur Fertigung von Wandelementen aus Mauerwerksziegeln werden eine Reihe von Fertigungsanlagen eingesetzt. Diese unterscheiden sich u. a. im Automatisierungsgrad (teil- und vollautomatisch) und der Herstellungsmethode (liegende und stehende Fertigung).

Bei liegender Fertigung werden Verbund- oder Gusstafeln auf Arbeitstischen gefertigt. Die Fertigung von Wandtafeln und Deckenplatten bspw. der Fa. Winkelmann (Rötz) weist einen hohen Vorfertigungsgrad auf. Der Einbau von Einbauteilen (Stürze usw.), der Elektro- und Sanitärinstallation sowie das Verputzen erfolgt in der Vorfertigung. Die Fertigung selbst ist aber weitgehend manuell (s. Abb. 3.14).



Abb. 3.14: Liegende Fertigung von Mauerwerkselementen (Quelle Fa. Winkelmann)

Für die stehende Fertigung wurden eine Reihe von teil- und vollautomatischen Anlagen entwickelt, die gegenwärtig eingesetzt bzw. angeboten werden (z. B. von Rimatem, Dynatec, Anliker, Ainedter, SÜBA, Lissmac, Limes Bautechnik, Lingl). Bei vollautomatischen Anlagen überwiegt der Einsatz von Portalrobotern (SÜBA, Ainedter, Lingl). Der prinzipielle Aufbau einer solchen Anlage ist der Abb. 3.15 zu entnehmen. Allerdings ist selbst bei vollautomatischen Anlagen ein Teil der Arbeiten (z. B. Einlegen von Bewehrungen) manuell auszuführen. Eine genauere Beschreibung verschiedener Anlagen kann der Literatur entnommen werden [AMB98a, AMB98b, HAN99, MAA98, PRO98, WEN99].

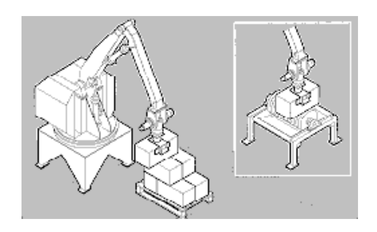


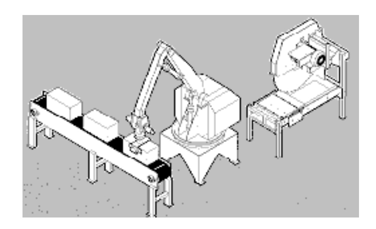
1. Paketbahn für verschiedene Ziegelformate auf Paletten
2. Lagergreifer
3. Leerpalettenstapel
4. Zuführbahn Hauptformate
5. Zuführbahn Kantenziegel
6. Zuführbahn Sägeziegel
7. Roboter für das Einschleusen der Ziegelformate von den Nebenlinien bzw. Aufsetzen auf einen Sägetisch und Umsetzen der gesägten Ziegel auf die Zuführbahn
8. Ziegelsäge
9. Zuführbahn
10. Lagengruppierung
11. Manuelle Aufnahme von Ausgleichsziegel
12. Systempalette auf Rollenbahn
13. Umsetzgreifer
14. Hubgerüst mit verfahrbarem Mörtelkübel
15. Hebebühne für Ausrüster
16. Station für manuelle Bearbeitung

Abb. 3.15: Fertigungsanlage für die automatisierte Wandelementefertigung (Quelle: Lingl AG)

Anlagen mit Knickarmrobotern (z. B. Limes Bautechnik mit Lissmac Roboter SLR 400/600) gehen auf Entwicklungsarbeiten für Mauerwerksroboter zurück, die in verschiedenen Institutionen in den 90er Jahren durchgeführt wurden [DAL97, NN98, WEN99, GAM00]. Als kommerzielles Produkt ist im Rahmen des ESPRIT-

Projekts ROCCO (RObot assembly system for Computer integrated COnstruction) der Schwerlastroboter SLR400/600 (Lissmac) entstanden [AND98, GAM00]. Einen Überblick für seinen Einsatz in der automatischen Vorfertigung von Wandelementen gibt Abb. 3.16.





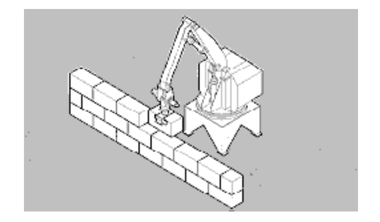


Abb. 3.16: Einsatz eines Schwerlastroboters zur automatisierten Vorfertigung von Wandelementen (Quelle: Lissmac GmbH)

Die automatische Vorfertigung von Wandelementen aus Ziegeln unabhängig von der Art des Verfahrens setzt voraus, dass aus dem CAD-Plan (Grundriss oder 3D-Modell) automatisch eine Aufteilung in Wandelemente vorgenommen wird. Für diese muss eine Aufteilung in Steine (Voll- und Schnittsteine) sowie die Festlegung der Bewehrung erfolgen. Die Aufteilung in Steine ist ein kritischer Punkt. Eine optimale Aufteilung führt auf eine minimale Anzahl von Schnittsteinen, die i. d. R. bei 30-40% der Gesamtsteinezahl liegt. Hieraus ergeben sich die für die Produktion und Montage notwendigen Informationen: Schnitt- und Stücklisten, Roboterprogramme, Montagepläne usw. Über die Entwicklung eines entsprechenden Softwareprodukts berichtet [HER96].

3.2.2.3 Herstellung von Wandelementen, Decken und Dächern aus Holz (Holztafelbau)

Die Fertigung von Wandelementen aus Holz ist ein Arbeitsschritt in der Fertighausherstellung. Hierfür existieren CNC-gesteuerte Abbundanlagen (s. Abb. 3.17) und automatisierte Transporteinrichtungen. Ein durchgängiger Datenfluss vom CAD zur Fertigungsplanung und zur Maschinensteuerung ist in Ansätzen vorhanden [PRO98]. Die Nutzung weiteren Rationalisierungspotentials scheitert vor allem an notwendigen Kapitalaufwendungen, die sich bei Produktionszahlen von ca. 1000 Häusern p. a. nicht rentieren [SCH98b].

Zimmereibetriebe greifen für die Herstellung von Decken und Dächern schon häufiger auf große Abbundanlagen zurück.



Abb. 3.17: Beispiel einer Abbundanlage, Profile und Fertigungschritte (Quelle: Fa. Hundegger)

3.2.2.4 Automatisierung von Ausbautätigkeiten

Ausbautätigkeiten können bereits in der Vorfertigung durchgeführt werden. Dazu gehören Vorbereitung und Durchführung von Elektro-, Heizungs- und Sanitärinstallationen, die z. B. der Fertighausherstellung manuell durchgeführt werden. Die entwickelten Lösungen sind zumeist für die Automatisierung der Ausbautätigkeiten auf der Baustelle vorgesehen, die im Abschnitt 3.2.3.3 betrachtet werden.

3.2.2.5 Automatisierte Vorfertigung von Bewehrungen

Durch die Vorfertigung von Bewehrungen wird auf der Baustelle bei der Erstellung der Bewehrung für die Bodenplatte und Ortbetondecken Arbeitszeit eingespart. Eine angebotene Technologie ist BAMTEC® (Bewehrungs-Abbund-Maschinen-Technologie).

Statt der herkömmlichen Baustahlmatten zur Bewehrung von Stahlbetondecken oder Bodenplatten werden Bewehrungsteppiche verwendet (s. Abb. 3.18). Diese enthalten ausschließlich einachsig verlegte Rundstähle, die mit querlaufenden Tragbändern zu einer Montageeinheit verbunden sind. Die Bewehrungslagen bestehen nicht aus Standardelementen, sondern sind individuell gefertigt für den jeweiligen Grundriss und die jeweilige Beanspruchung.

Nach Vorgabe der Geometrie der BAMTEC-Elemente wird der Bewehrungsplan automatisch berechnet. Es werden die Fertigungpläne (zur Kontrolle für den Produzenten), ein Roll-out-Plan (für die Baustelle) und ein Übersichtsplan (für den Prüfingenieur und zur Bewehrungsabnahme) erstellt. Die Fertigung erfolgt weitgehend automatisiert auf Grundlage der CAD-Daten aus der Bewehrungsplanung (s. Abb. 3.19).



Abb. 3.18: Ausrollen der Bewehrungsmatten (Quelle: Fa. BAMTEC-Süd)

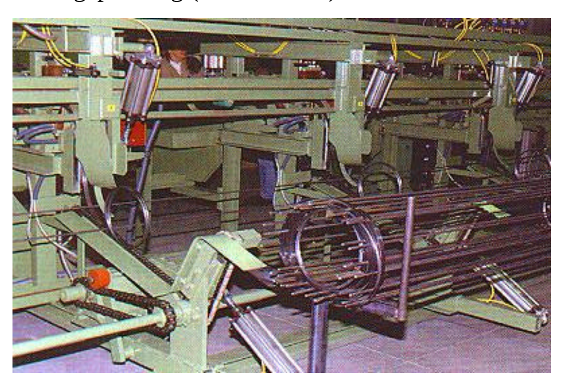


Abb. 3.19: Schweißbox für Bewehrungsmatten (Quelle: Fa. BAMTEC-Süd)

3.2.3 Automatisierung auf der Baustelle

3.2.3.1 Automatisierung im Mauerwerksbau

Nach Konzeptstudien in den 80er Jahren sind die ersten Mauerwerksroboter in den Projekten BRONCO [DAL97] und ROCCO [AND98, GAM00] prototypisch Mitte der 90er Jahre realisiert worden. Im Rahmen von BRONCO (Bricklaying Robot for use ON the COnstruction site) wurde vor allem an der Anpassung der Kinematik, an der Entwicklung einer Vorrichtung zum Mörtelauftrag und an der Gestaltung des Steingreifsystems gearbeitet. Darüber hinaus wurden Sensorkonzepte zur Erzielung der notwendigen Genauigkeit bei der Steinversetzung sowie ein System zur Positionsbestimmung und Navigation entwickelt. Ein Programmiersystem, das die Generierung des Steuerungsprogramms aus dem Gebäudemodell erlaubt, ist im Rahmen dieses Projektes nicht entwickelt worden.

Hingegen ist ein Programmiersystem Bestandteil des Projektes ROCCO gewesen [AND98]. Dieses dient einer impliziten Offline-Programmierung. Auf aufwendige Sensorik wurde verzichtet. Zu Feinpositionierung wird auf Taster zurückgegriffen. Der Roboter wird auf dem Stockwerk eingemessen und mit dem ersten Stein einer Palette geteacht.

Ein Einsatz autonomer mobiler Mauerroboter in der Praxis findet gegenwärtig nicht statt. Der im Rahmen von ROCCO entwickelte Roboter wird als Schwerlastroboter von der Fa. Lissmac vertrieben und in der stationären Vorfertigung von Mauerwerkselementen angewendet (s. Abschnitt 3.2.2.2).

3.2.3.2 Automatisierung im Hochbau und automatisierte Montage

Automatisierte Maschinen und Roboter, die im Hochbau eingesetzt werden, dienen zum Herstellen der Bewehrung (einschl. Schweißen), zur Betonverteilung, -verdichtung und -glättung und allg. dem Materialtransport. Ihre Entwicklung und ihr Einsatz erfolgt vorwiegend in Japan. Einen Überblick und Beschreibungen einzelner Systeme geben [COU98, PRO98]. Ihr Einsatz ist allerdings nur bei großen Bauprojekten (z. B. Bürogebäude) sinnvoll und wirtschaftlich.

Die Entwicklung von automatisierten Materialhandhabungssystemen (außer Kränen) wurde ebenfalls vor allem in Japan voran getrieben [COU98, PRO98]. Ihr Haupteinsatzgebiet ist die Montage von Fassadenelementen und im Innenausbau.

Die Entwicklung von automatisierten Kränen und Montagerobotern wird in [LEY95] diskutiert. Schwerpunkt dieser Studie ist die Kinematik geeigneter Montageroboter und die durchführbaren Montagearbeiten. Ein Ergebnis ist die Feststellung, dass ein Einsatz vorwiegend in Vorfertigung (z. B. Vorfertigung von Wandelementen aus Mauerwerksziegeln, Herstellung und Montage von Betonfertigteilen) sinnvoll ist.

Über eine Integration von CAD-System und Robotersteuerung (Bahnplanung) berichtet [SON96]. Gegenstand des Forschungsprojekts war ein System zur automatischen Ableitung von einzelnen Tasks des Montageroboters

aus den CAD-Plänen und zur regelbasierten Bahnplanung. Untersucht wurde die Bahnplanung im zweidimensionalen Raum ausgehend vom 3D-Modell.

3.2.3.3 Automatisierung von Ausbautätigkeiten

Zu den Tätigkeiten für die zumindest prototypisch realisierte Automatisierungslösungen existieren gehören

- automatisches Fräsen von Schlitzen [AND98],
- automatisiertes Verputzen [FOR95, PRI97, ROS93, WAR94, WAR96, WAR98, WEI98],
- automatisches Fliesen [SCH96b, COU98],
- Anbringen von Deckenpaneelen [FEL98],
- automatisches Spritzen [COU98],
- Materialhandhabung [COU98].

Bei den genannten Automatisierungslösungen handelt es sich zumeist um mobile Roboter. Diese unterliegen hinsichtlich ihrer Maße und ihres Gewichts starken Beschränkungen, da sie den fertigen Rohbau befahren müssen und damit die Zugänglichkeit stark eingeschränkt ist. Nur wenige Geräte sind kommerziell verfügbar. Bei diesen handelt es sich um japanische Entwicklungen, die für den Einsatz beim Ausbau von größeren Gebäuden, wie Bürogebäuden, konzipiert sind. Damit ist ihre Anwendung im Wohnungsbau i. Allg. nicht sinnvoll.

Vielmehr erscheint es sinnvoll, Ausbautätigkeiten bereits in der Vorfertigung durchzuführen und zu automatisieren. Hierbei ist vor allem die Vorbereitung von Installationen durch das Fräsen von Schlitzen u. ä., das Auftragen von Putz (s. Abb. 3.20) sowie Aufbringen von Fliesen auf Paneele, die an die Wände des zu fliesenden Raumes montiert werden, denkbar.

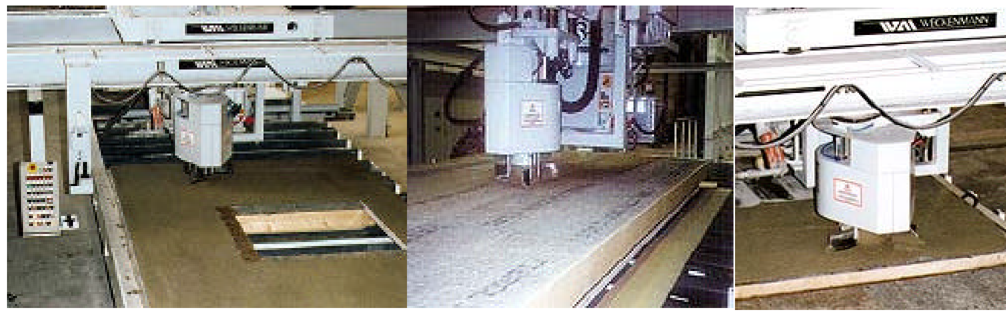


Abb. 3.20: Verputzanlage (Quelle: Fa. Weckemann)

3.2.3.4 Automatisierung von Instandhaltungs- und Sanierungsarbeiten

Automatisierungslösungen für Instandhaltungs- und Sanierungsarbeiten bei Wohnhäusern liegen bisher kaum vor. Der Einsatz von Systemen, wie Roboter für Inspektion, Reinigung, Reparatur (s. z. B. [COU98]) von großen Gebäuden (Bürogebäude, Zweckbauten), ist lediglich bei großen Wohngebäuden denkbar. Kommerzielle Systeme existieren z. B. für die automatische Vermessung (s. Abschnitt 3.1) und das teilautomatisierte Entfernen von Putz (s. Abb. 3.21) [SCH98a, GPS00]. Im Forschungsbereich wurde z. B. am Forschungszentrum Karlsruhe an mobilen Robotern zur Betonsanierung bei Gebäuden gearbeitet [KUN95, GEN91].

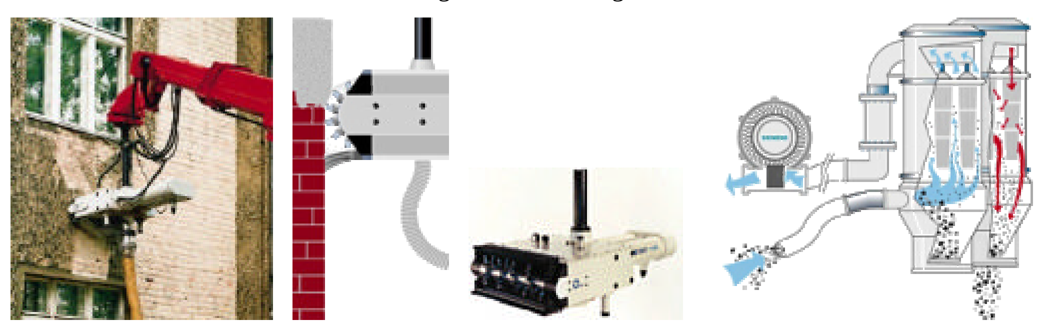


Abb. 3.21: Automatisierte Fräse zur Fassadensanierung (System Biber) (Quelle: Fa. GPS)

Die Entwicklung autonomer mobiler Roboter ist noch nicht so weit fortgeschritten, dass ihr regelmäßiger Einsatz in solch schwach strukturierten Umgebungen, wie Baustellen, in den nächsten Jahren zu erwarten ist. Neben den technischen Problemen stehen ihrer Anwendung aber auch Probleme, die aus dem traditionellen Bauablauf, der ungenügenden informationstechnischen Vernetzung der Bauplanung und -ausführung usw. resultieren, sowie wirtschaftliche Gründe entgegen. Die Erfahrungen mit kommerziellen Baurobotern und entsprechenden Prototypen lassen eine andere Strategie der Roboterisierung sinnvoll erscheinen: bedienergeführte Manipulatoren bzw. Roboter. Durch die stärkere Mensch-Roboter-Interaktion lassen sich die Roboter einfacher gestalten (weniger

Sensorik notwendig, einfachere Steuerung) und besser in den Bauprozess integrieren. Darüber hinaus verbessert eine solche Strategie die Akzeptanz der neuen Technologie.

3.2.4 Ausblick: Computergestütztes Bauen

In Anlehnung an den Begriff Computer Integrated Manufacturing (CIM) wurde der Begriff Computer Integrated Construction (CIC) geprägt. Verstanden wird darunter die informationstechnische Integration sowie Automatisierung von Planung und Entwurf, Fertigung und Montage in der Vorfertigung und auf der Baustelle, Produktionsplanung und Logistik. In Ansätzen wurden CIC-Konzepte bereits beim industriellen Bauen in Großtafelbauweise verwirklicht.

Eine weitere wichtige Entwicklungsetappe bilden die durch japanische Bauunternehmen seit Ende der 80er Jahre konzipierten Bauautomatisierungssysteme für den Hochbau insbesondere in Stahlskelettbauweise, die für den Bau von Hochhäusern bisher zumindest prototypisch angewendet wurden [COU98, PRO98]. Die Verwendung vorgefertigter Elemente spielt eine wichtige Rolle. Installationen sind weitgehend in Decken vormontiert. Der Bau vollzieht sich parallel ober- und unterirdisch (Fundament und Tiefgeschoss), wobei mit dem ersten oder dem obersten Geschoss begonnen wird. Der Materialtransport, die Montage des Stahlskeletts (Verschrauben und Verschweißen), das Einbringen des Betons für die Decken, die Montage der Wandpaneele und Fassadenelemente erfolgt automatisch durch spezielle Roboter, deren Tätigkeit von einem Kontrollzentrum aus überwacht wird.

Gegenwärtig ist eine preislich konkurrenzfähige Errichtung von Gebäuden durch diese automatischen Hochbaustellen noch nicht gegeben. Dennoch sind einige positive Aspekte, wie die Arbeitskräfteeinsparung, die Verbesserung der Arbeitsbedingungen, ein Imagegewinn der Bauindustrie, zu verzeichnen. Allerdings lassen sich solche Systeme nicht auf den hier speziell betrachteten Bau von Wohnhäusern übertragen, wenngleich bestimmte Erfahrungen nutzbringend bei der Automatisierung des Wohnungsbaus unter hiesigen Verhältnissen sein können.

Auch in Deutschland und Europa wird an der Umsetzung von CIC-Konzepten gearbeitet. Beispielsweise in der Fa. SÜBA AG Mannheim wurde seit Ende der 80er Jahre an der Entwicklung von Anlagen zur automatisierten Wandelementefertigung gearbeitet [AMB98a, AMB98b]. Hierbei wurde von Beginn an auf den informationstechnischen Verbund von Planung und Entwurf und Fertigung hingearbeitet. Hinzu gekommen ist die automatisierte Fertigung von Filigrandecken und Dachelementen. Außerdem ist die Einbindung der Haustechnik über ein digitales Haustechnikmodell in das Gebäudemodell realisiert [SÜBA00].

Ein ebenfalls in der Bauindustrie angesiedeltes Projekt wird gegenwärtig von der Fa. Europahaus konzipiert [BON98, HAS98, EUR00]. Zielstellung ist die hochautomatisierte industrielle Fertigung von individuell geplanten Häusern in Massivbauweise. Hierzu sollen verschiedene spezielle Roboter (z. B. Mauerwerksroboter, Steinbearbeitungsroboter), ein automatisiertes Materialtransportsystem, eine neuartige Betondecken-Fertigungsanlage, eine Wandmontageanlage sowie Baustellenmontageanlage entwickelt werden. Die Zielstellung ist hochgradig ehrgeizig, die Erfolgschancen sind momentan daher nur schwer einschätzbar.

Von der EU wird das Projekt FutureHome, an dem europäische Forschungsinstitutionen, Universitäten und Bauunternehmen beteiligt sind, gefördert. Das Projekt, Teil des internationalen Programms Intelligent Manufacturing Systems (IMS), zielt auf die Reorganisation von Entwurf und Fertigung von Wohnhäusern. Dabei werden drei Schwerpunkte verfolgt: modulare Strukturen (Bausysteme), Automatisierungssysteme (automatisierte Vor- und Baustellenfertigung) und autonome Agenten (IT-Infrastruktur für Planung und Fertigung) [ATK99b]. Hierbei wird die Entwicklung der Baukonstruktionen und der Fertigungstechnologie parallel betrieben, d. h. es wird nicht versucht, den traditionellen Bauprozess zu automatisieren. Erwartet wird vor allem eine erhebliche Verringerung der Baukosten und -zeit, der Unterhaltungskosten, eine Verbesserung der Qualität sowie eine Reduktion der Umweltbelastung. Ergebnisse liegen allerdings noch nicht vor.

3.2.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Neben den zwei zu Beginn genannten Rationalisierungsansätzen und den daraus resultierenden unterschiedlichen Ansätzen zur Automatisierung von Bautätigkeiten, zeigen sich zwei weitere Trends:

1. Aufsetzend auf den traditionellen Bauablauf und die dabei ausgeführten Tätigkeiten wird versucht, diese Tätigkeiten zu automatisieren. Das bedeutet, dass die herkömmliche Bauweise (Baukonstruktion), Fertigungstechnologie ebenso wie der Bauablauf beibehalten werden. Dies ist die sog. Bottom-Up-Strategie.
2. Ausgehend von Analysen, welche Baukonstruktion sich durch einfach zu automatisierende Fertigungstechnologien realisieren lässt, wird versucht den gesamten Bauprozess neu zu gestalten und einzelne Prozessschritte zu automatisieren. Dieses Vorgehen wird als Top-Down-Strategie bezeichnet.

Die erste Strategie hat den Vorteil, dass sich der automatisierte Bauprozess aus der Summe automatisierter Teilprozesse ergibt. Dabei ist die Automatisierung der Teilprozesse relativ unabhängig voneinander durchführbar, da die Schnittstellen zwischen den Teilprozessen beibehalten werden. Die Akzeptanz eines solchen Vorgehens ist relativ hoch, da weder die Bauweise noch die einzelnen Teilprozesse sich wesentlich ändern. Es besteht aber in starkem Maße die Notwendigkeit, Baustellentätigkeiten zu automatisieren, was prinzipiell komplizierter ist als die Automatisierung unter fabrikmäßigen Produktionsbedingungen. Hier liegen die Grenzen dieser Strategie.

Die zweite Strategie führt zu neuen Baukonstruktionen und -technologien. Hierbei lassen sich die Vorteile der Vorfertigung unter fabrikmäßigen Produktionsbedingungen vollständig nutzen. Da der gesamte Bauprozess neu gestaltet wird, besteht ein hohes Risiko in der Entwicklung und ein hoher Investitionsbedarf bei der Realisierung. Dies und die veränderte Baukonstruktion führen i. Allg. zu Akzeptanzproblemen.

Diese genannten Strategien können als zwei Extreme aufgefasst werden, die den Rahmen für Projekte zur Rationalisierung des Bauens durch den Einsatz von Automatisierungstechnik und Informationstechnologien bilden. Wichtig ist, dass die Baukonstruktion, die Bautechnologien und der Bauprozess zumindest partiell auch unter dem Gesichtspunkt der Automatisierung (neben solchen Gesichtspunkten wie Umweltverträglichkeit und Ressourceneffizienz sowie Qualität) neu gestaltet werden. Zielstellung ist die Entwicklung von Komponenten des automatisierten bzw. computergestützten Bauens. Wichtige Schwerpunkte hierbei sind:

Modularität: Berücksichtigung des modularen Aufbaus von Gebäuden während der Entwurfs ermöglicht die Nutzung von vorgefertigten Bauteilen. Da Bauteile wiederum aus Elementen bestehen, folgt eine Bauteilhierarchie. Ein Wandelement kann bspw. aus mehreren Wandsteinen und Installationen bestehen.

Vorfertigung: Eine Vorfertigung der Bauteile unter industriellen Bedingungen setzt Rationalisierungspotenzial frei. Sie erlaubt u. a. Spezialisierung und weitgehende Automatisierung und reduziert die auf der Baustelle auszuführenden Arbeiten. Ausgangsprodukte sollten wo möglich bereits verfügbare Halbzeuge sein.

Montage: Montagearbeiten an Bauteilen sollten weitgehend in der Vorfertigung erfolgen, so dass relativ hochintegrierte Bauteile resultieren (z. B. Dachelemente mit montierter Wärmedämmung und Konterlattung und Lattung für die Ziegeleindeckung). Für die Montage der Bauteile auf der Baustelle müssen diese eine sinnvolle Größenordnung besitzen, so dass ihre Anzahl überschaubar bleibt, sie gleichzeitig aber von Gewicht und Größe her mit üblicher Hebezeugtechnik beherrschbar sind.

Fertigungsplanung und Logistik: Der Einsatz vorgefertigter Bauteile stellt höhere Anforderungen an Planung und Logistik. In diesem Bereich liegen bereits bei der konventionellen Bauweise große Reserven. Die Entwicklung computergestützter Methoden (Workflow Management, Ablaufsimulationen, Optimierung) ist insbesondere für den Bereich Bauausführung voranzutreiben.

Automatisierung: Der Schwerpunkt der Automatisierung sollte bei den Produktionsprozessen in der Vorfertigung liegen. Bei der Automatisierung von Baustellentätigkeiten ist auf eine starke Mensch-Maschine-Interaktion zu setzen. Es sollte kein hoher Autonomiegrad der Baumaschinen (Bauroboter) angestrebt werden.

Schnittstellen: Die Vorfertigung von Baukomponenten durch unterschiedliche Hersteller verlangt klar definierte Schnittstellen bei den Komponenten und ihren informationstechnischen Abbildern. Für letztere ist ein Produktmodell ein geeignetes Instrument. Das zugehörige Produktdatenmodell ist parallel zu den Fertigungsprozessen zu entwickeln.

3.3 Hausautomatisierung

3.3.1 Einleitung

Aufgrund gestiegener Ansprüche an Komfort und Sicherheit, erhöhter Anforderungen an die Energie- und Ressourceneffizienz, der rasanten Entwicklung im Bereich der Kommunikations- und Informationstechnik sind Häuser und Wohnungen heutzutage mit einer Vielzahl einzelner technischer Geräte ausgestattet. Schnittstellen zur Kommunikation untereinander existieren meist nur rudimentär oder als eigenständige Lösung eines Herstellers. Obwohl tendenziell immer mehr Haushalte mit umfassenden Netzwerken ausgestattet werden, mit denen man alles programmieren kann - von der Alarmanlage bis zur Heizungssteuerung oder Leuchtmitteln, fehlt der Durchbruch als Massenanwendung für Einfamilienhäuser. Ganz anders sieht der Einsatz im professionellen Gebäudemanagement [SIE00] aus. Dort sind für Betrieb, Wartung und Betreuung Fachleute vorhanden bzw. entsprechend bezahlbar, um große Gebäudekomplexe voll automatisiert zu betreiben.

Für eine Wohnumgebung, in der nahezu alle Geräte miteinander kommunizieren können, wurde der Begriff SmartHome eingeführt (s. Abb. 3.22). Das umfasst neben der Möglichkeit Geräte zu koppeln auch das Verwenden von automatisierten Abläufen und das Transportieren von Multimediadaten über mehrere verbundene Netzwerke.

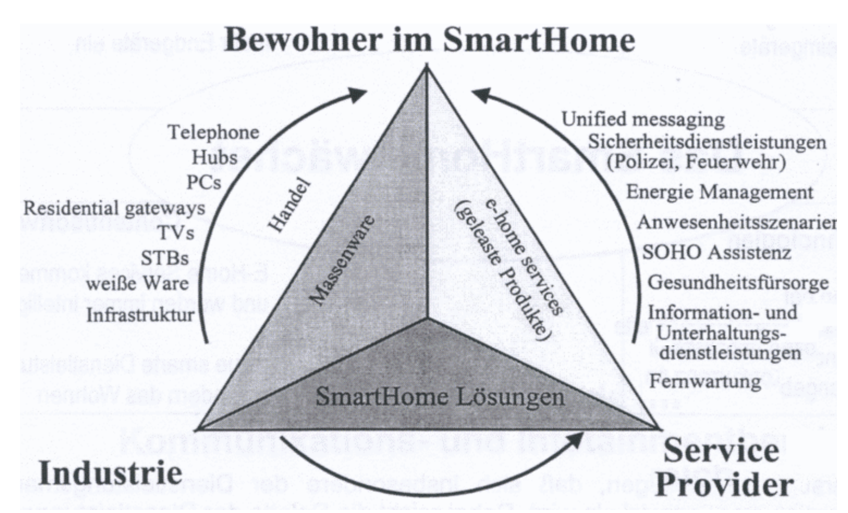


Abb. 3.22: SmartHome - Interessengruppen

Die treibende Kraft für die Entwicklung zum SmartHome [SMH00] und zum Massenmarkt ist das Internet und mobile Geräte mit Audio-, Video- und Bilddaten. Laut Studien, u.a. der Datamonitor-Studie (s. Abb. 3.23) Digital Home 2003, wird das SmartHome ein lohnender Markt werden. Es stehen deshalb die unterschiedlichen Industriezweige, inklusive den Serviceprovidern, in den Startlöchern um Produkte und Dienstleistungen anzubieten.

Es gibt im Moment auf dem Markt fast für jeden Anwendungsbedarf mehrere in Frage kommende Gerätschaften. Diese sind schlecht kombinierbar, haben sehr unterschiedliche Anforderungen an die Nutzer und können auch nicht auf einheitliche Weise bedient werden.

Ziel des SmartHome ist

- eine vereinfachte Bedienung durch die Nutzer,
- eine erhöhte Funktionalität durch Vernetzung der Geräte (neue Dienste, Sicherheit, Ressourcenmanagement usw.),
- Anbindung an das Internet und damit Möglichkeiten für neue Dienstleistungen.

Es stehen Techniken vom „einfachen“ Zugang zum Internet, digitale Multimediasysteme [DVB00] und Haus-LAN-Installationen mit höchster Kommunikationsbandbreite zur Verfügung. Auf der anderen Seite gibt es einfache Geräte und Haushaltsgeräte, Fensterkontakte, Steckdosen und Sensoren mit niedrigsten Datenaufkommen (s. auch [CTH00a, CTH00b, GFU00, EIH00]).

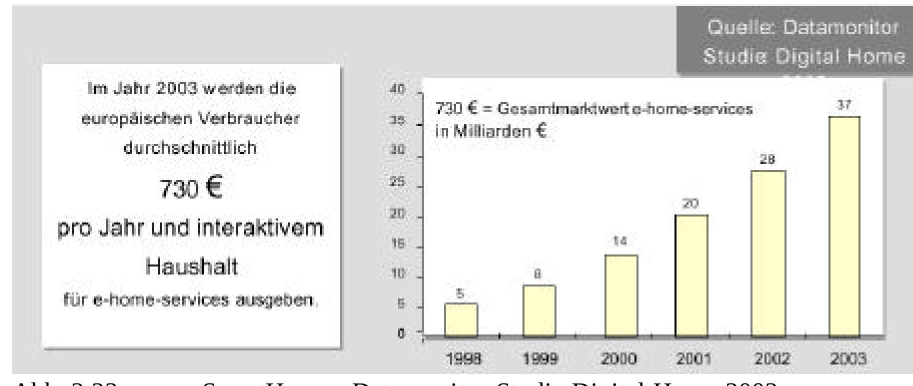


Abb. 3.23: SmartHome - Datamonitor-Studie Digital Home 2003

Die Anforderungsprofile und die Bandbreite ganzer Teilsysteme eines vernetzten Hauses sind so anspruchsvoll, dass es nötig bleiben wird, diese Teilsysteme mit jeweils eigenen Netzwerken und Kommunikationsprotokollen beizubehalten. Als Beispiel seien hier die komplette Heizungssteuerung und die Alarmanlage mit ihren hohen Sicherheitsaspekten oder das Haus-LAN, die ISDN-Anlage oder der Digitale Breitbandzugang [DVB00] über das (Koax)Kabel genannt.

Um zu untersuchen, welche Möglichkeiten vorhandene Systeme bieten und wie man sie kombinieren und vergleichen kann, wird eine Beurteilung nach verschiedenen Kriterien nötig. Im Nachfolgenden sind die Kriterien, die später in den Vergleichstabellen verwendet werden, mit Klammern {_} gekennzeichnet.

3.3.2 Anwendungsbereiche

Man kann die Anwendungsgebiete im Haus in drei große Bereiche untergliedern: **CONTROL, ENTERTAINMENT** und **COMPUTER** (Abb. 3.24).

Der Bereich CONTROL umfasst Hausgerätesteuerungen aller Art. Für die Vernetzung sind Hausbussysteme erhältlich, z B. European Installation Bus [EIB00, INS00a, KNX00a] und LON der Fa. Echelon [LON00] sowie einige andere [BAT00, LCN00, X1080, DOM00a].

Der Bereich ENTERTAINMENT erstreckt sich von der Stereoanlage über Fernseher bis hin zu Videorecordern.

Wegen der noch fast ausschließlich analogen Technik beschränkt sich die Kommunikation auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen über Kabel.

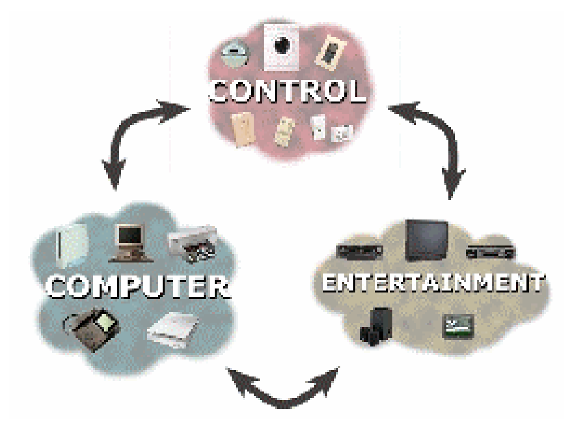


Abb. 3.24: SmartHome - Anwendungsbereiche

Der Bereich COMPUTER umfasst den PC und periphere Geräte, z. B. Drucker, Scanner. Der PC ist multifunktionell: neben den Büroanwendungen, z. B. für Telearbeit, dient er der Unterhaltung (z. B. Spiele), der Kommunikation (z. B. Internet) und kann für Aufgaben der Heimautomation eingesetzt werden. Seine Einbindung in das Internet und an andere Kommunikationsnetze ist gegeben. Häufig erfolgt sie über das 10- oder 100-Mbps Ethernet [ETH00].

Nach einer CEMA-Studie [CEM00a] möchten in den USA 28 Prozent der Konsumenten gerne Temperatur und Heizungsfunktionen steuern. Für ca. 26 Prozent ist die Integration des "HOME-Theaters" (Fernsehen, Stereoanlage, Videorecorder etc.) das Wichtigste bei der Heim-Automatisierung. Immerhin 23 Prozent halten die Steuerung der Beleuchtung für maßgeblich. Interessant ist es, alle Steuerungen und zeitlichen Abläufe von Steckdosen und Beleuchtung zu kombinieren, da sich die Funktionen meist relativ einfach (An/Aus) realisieren lassen und dennoch im Alltag sofort eine Verbesserung bringen und Wirkung zeigen.

Diese Bereiche lassen sich wie folgt feiner untergliedern in *HVAC* (Heating,Ventilation, Air Conditioning), *Hausgerätesteuerung, Sicherheitssysteme, Kommunikationsmanagement, Unterhaltung, Telearbeit* und *HomeCare.*

3.3.2.1 HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning) {HVAC}

Die Steuerung von Heizung und Klimaanlage ist regelungstechnisch die anspruchvollste Anwendung für ein SmartHome, da sich Wohnungen bzw. Häuser strukturell sehr unterscheiden, durch den jeweiligen Standort anderen äußeren Einflüssen unterliegen und individuell genutzt werden. Systemtheoretisch betrachtet ist ein Haus ein zeitvariantes nichtlineares Mehrgrößensystem, das großen Störungen unterliegt (Wetter, Lüftung). Die üblichen Heizungsregelungen sind von einfachster Ausprägung, meist als Heizkörperthermostatventil. Daran konnte auch angewandte Forschung [ENV98] noch nichts ändern. Die Hausbussysteme eigenen sich gut zur Vernetzung und Regelung von HVAC. Aber auch komplette, in sich geschlossene Systeme mit Sensoren und Vernetzung sind auf dem Markt zu haben. Honeywell [HON00] bietet zum Beispiel eine komplette HVAC mit Sensorik zum einfachen Nachrüsten eines Hauses an, da die einzelnen Komponenten Nachrichten über Funk austauschen.

Haben Bewohner speziellere Wünsche, sollten sie ihre HVAC individuell anpassen können. Die meisten erhältlichen Heizungsregelungssysteme sind aber nur relativ grob optimierbar. Auch eine bedarfsgesteuerte Warmwasseraufbereitung stellt manchmal ein nicht einfaches Steuerungsproblem dar. Durch Einzelraumregelung und Zeitmanagement sowie in Kombination mit Wettereinflüssen und Vorhersagen ergibt sich ein beachtliches Einsparungspotential.

Neue Entwicklungen im Haus (Niedrigenergie- und Passivhäuser) haben zu einer drastischen Senkung des Heizenergiebedarfs durch bessere Isolierung und Luftdichtigkeit geführt. Zum einen gewinnt dadurch die Regelung und Steuerung und die Benutzeranpassung an Bedeutung, zum anderen wird sich der Schwerpunkt von HVAC künftig zu Lüftungssteuerungen verschieben. Es ist davon auszugehen, dass dementsprechend in Wohnhäusern verstärkt Klimaanlagen installiert werden. Diese integrieren Aggregate zur Wärmeerzeugung, zum Wärmetausch und zur Luftaufbereitung. In Zukunft werden wahrscheinlich verstärkt neue kombinierte Systeme eingesetzt werden: z. B. kleine, wohnhausgerechte Blockheizkraftwerke auf Brennstoffzellenbasis mit einem sehr hohen Gesamtenergiewirkungsgrad.

3.3.2.2 Haushaltsgerätesteuerung {CONTROL}

Zu der Liste der möglichen Endgeräte gehören Lampen, Steckdosen, Garagentore, Sprenkleranlagen, Jalousien, Türspione, Telefon-Anlage sowie sämtliche elektrischen Haushaltgeräte wie Mikrowelle, Kaffeemaschine, Backofen, Eierkocher, Toaster, Kühlschrank und Waschmaschine (s. Abb. 3.25).

Gegenwärtig sind nahezu alle Haushaltsgeräte weder „intelligent" noch vernetzungsfähig. Dabei gibt es mit Hilfe der Techniken der Gebäudeautomatisierung, die in kommerziellen Bereichen üblich sind, Möglichkeiten, Geräte (Licht, Steckdosen, Anlagen) über Hausbussysteme zu verbinden und besser zu nutzen.

Sicher hat sich jeder schon einmal gefragt, warum man sich bei jedem Gerät aufs Neue durch eine Bedienungsanleitung unterschiedlicher Qualität durcharbeiten muss, um schließlich kleine Einstellungen zu ändern. Die folgende Vorstellung vom Umgang mit zukünftigen Endgeräten jeglicher Art hört man immer wieder von den Vertretern der Hausautomatisierungsindustrie: Man steht mit einem funkfähigen PENComputing-Tablett oder UMTS-Handy [UMT00] vor einem Gerät und lässt sich grafisch von einem Software-Assistenzprogramm durch die Einstellungen des Gerätes führen und sie verändern. Natürlich sind alle Geräte vernetzt und die Abfrage von Werten oder das Senden von Kommandos ist daher von überall möglich, auch über Internet oder Mobilfunk.

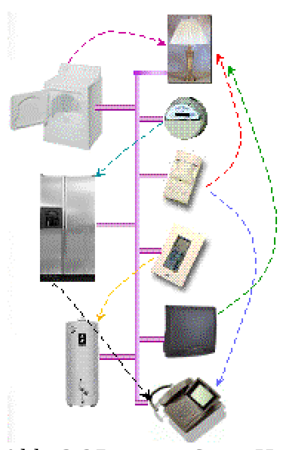


Abb. 3.25: SmartHome - Gerätevernetzung

Man hat festgestellt, dass die meisten wichtigen Entscheidungen der Haushaltsführung in der Küche getroffen werden und man sich dort im Schnitt am häufigsten aufhält. Insofern ist nur folgerichtig, dass Fa. Ericsson und Fa. Elektrolux ein solches Gerät fest in einen Kühlschrank einbauen [E2H00].

Andere Pilot-Entwicklungen müssen sich aber erst am Verbraucher orientieren. Zum Beispiel bringt die sprechende und verstehende Waschmaschine [IMS99] zwar für Blinde etwas, es wären aber andere technische Optimierungen mit soviel Elektronik möglicherweise sinnvoller: Beispielsweise das Erkennen des genauen Verschmutzungsgrads der Wäsche. Aber vielleicht wünscht sich mancher nur, dass die Waschmaschine signalisiert, wenn sie fertig ist, vielleicht in dem sich die Stehlampe im Wohnzimmer einschaltet.

Ein Problem bei der Vernetzung von Haushaltsgeräten mit Endgeräten des Entertainment-Bereichs (Fernseher, Stereoanlage, Videogeräte) ergibt sich durch die unterschiedlichen benötigten Bandbreiten (Faktor ca. 10000). Überdies herrscht bei den Entertainment-Geräten bunte Vielfalt und eine hohe Marktdynamik, so dass dort meist mehrere Generationen von Geräten nebeneinander existieren. Die schon heute zum Teil verfügbaren Lösungen für die Vernetzungsproblematik sind Gateways, die Hausautomatisierungsnetze und Multimedianetze bzw. Haus-LANs koppeln.

Ein Ziel eines SmartHomes ist die Bedienbarkeit vieler Geräte von einem Punkt aus, was aus praktischen Gesichtpunkten oft auf eine Fernbedienung hinausläuft. Im Moment gibt es für viele einzelne Geräte Infrarotfernbedienungen u.a. auch für die Geräte, die an ein Hausbussystem angeschlossen sind [EIB00] oder geschlossene Systeme bilden [HON00]. Es kann aber doch nicht die Lösung sein, zu den vielen Infrarotfernbedienungen noch eine weitere für die Heizung, noch eine für die Alarmanlage und eine weitere für die Lichtsteuerungen etc. hinzuzufügen!

Der Markt der mobilen Geräte, Handhelds und Handys boomt. Es gibt leistungsfähige drahtlose Kommunikations-Schnittstellen wie Bluetooth [BLU99, IRD00], die Interoperabilität zwischen Geräten erlauben und an deren Standardisierung weltweit alle großen Hersteller beteiligt sind. Es ist zu erwarten, dass viele neue Geräte diese Schnittstelle bereits integriert haben und die entsprechenden Protokolle [OSG00] beherrschen. Bei Handys, Labtops und Handhelds, Digitalkameras und Camcordern gibt es das bereits.

Eine einzige Fernbedienung für Haushaltsgeräte aller Art, die automatisch die vorhandenen Geräte und deren Funktionen zumindest als Text erkennt, ist absehbar. Man braucht dazu noch Gateways von Bluetooth zu den Hausbussen, die eine Abbildung der angeschlossenen Engeräte bereitstellen. Ein solcher universeller Gateway ist nicht bekannt. Für die (Fern-)Bedienung von beliebigen Geräten an Hausbussen gibt es von verschiedenen Herstellern Grafikterminals [HMS00], diese müssen aber auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnitten werden.

3.3.2.3 Kommunikationsmanagement {TELECOMMUNICATION}

Der Bereich Kommunikationsmanagement wird im Zuge der sich rasant verbreitenden mobilen Geräte sowie durch die Integration von Schrift, Email, Bild, Fax, Sprache und Video in ein System immer wichtiger werden. Hauptsächlich das Internet, d. h. der Markt der **Zugangstechnologien** [TEL00], erlaubt es, die Kombination der neuerer Dienste Email, SMS und Fax-To-Mail auch mit Mobil-Telefonen zu nutzen. Künftig werden verstärkt auch neuere Techniken z. B. Bildtelefon, WAP, mobil und in Haushalten eingesetzt werden. Das erlaubt zum Beispiel neue Anwendungen: den Türspion und das Baby-(Video)-Phone über das Internet oder das Ansprechen

von Überwachungskameras, das Zusammenfassen von Nachrichten in ein Multimediapostfach oder das automatische Konvertieren und Weiterleiten mit andern Medien. Für viele solcher Anwendungen sind aktuell Einzel- und Insellösungen im Handel erhältlich.

Schließlich geht es darum, die Kommunikation von Einzelpersonen und die einer Lebensgemeinschaft untereinander zu organisieren und mit dem SmartHome zu verbinden. Bisher werden solche Dienste, hauptsächlich Email, eher von Internet-Service-Providern extern angeboten und verwaltet. Für die Speicherung von privater Multimediadaten bedarf es großer Kapazität und der Wahrung von Privatsphäre, daher sind externe Provider eher ungeeignet. Andererseits lassen sich in einem SmartHome Geräte mit großen Speichermedien und die Anbindung an Netzwerke hoher Bandbreite installieren und dauernd aktiv schalten. Solche Geräte sind gerade in der Entwicklung oder sind für einzelne Medien erhältlich. So bekommen Fernseher eine Festplatte zum Speichern von Filmen und es gibt Stereoanlagen mit MP3-Massenspeicher.

3.3.2.4 Unterhaltung {ENTERTAINMENT}

Zu diesem Bereich gehören fest installierte Geräte, wie Stereoanlage, Fernseher, Videorekorder, DVD-Player, sowie mobile Geräte, wie Radio, Walkman und Digitalkamera. Momentan sind diese Geräte kaum vernetzt und Datenverknüpfungen erfolgen meist durch analoge Punkt-zu-Punkt-Verbindungen.

In der Unterhaltungsbranche in einem SmartHome konkurrieren Hersteller von Internet-Zugangstechnologien mit den Vorstellungen der Medienkonzerne aus Funk und Fernsehen und den Geräteherstellern [HTM00, GFU00, CTH00a, SDI00, CEM00b] um die Kunden. Betrachtet man die Aktivitäten in diesen Märkten, so ist ein künftiges Zusammenspiel vieler Multimediageräte absehbar (s. Abb. 3.26). Dieses wird dadurch bestimmt sein, dass man die Multimediadaten nicht nur digital von der Ein- zur Ausgabe schickt, sondern Geräte über einen gemeinsamen Multimedia-Bus koppelt.

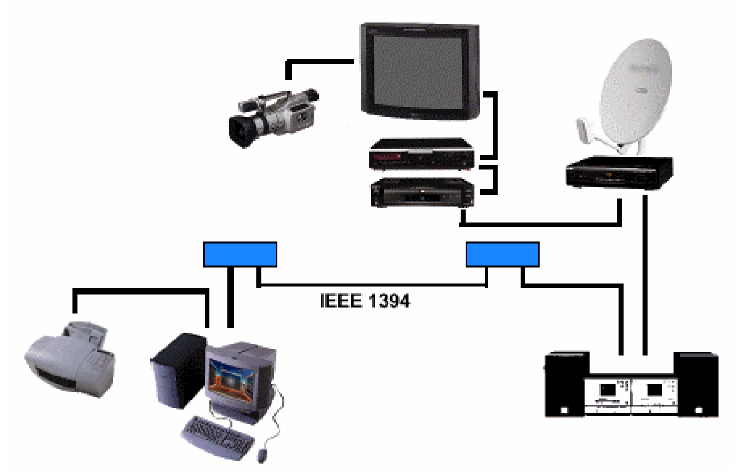


Abb. 3.26: SmartHome - Entertainment-Vernetzung

Ziel ist es, Video, Audio und Digital Video Broadcasting [DVB00] untereinander und mit den Internet-Diensten zu verknüpfen. Als weltweit von allen Herstellern akzeptierter und unterstützter Standard für digitalen Audio- und Videodatenaustausch gilt der IEEE-1394-Bus, auch als Firewire [FIR00] bezeichnet. Das Motto der ganzen Vernetzungsbranche „No more wires" gilt auch für die Unterhaltungsgeräte und so wurden basierend auf IEEE 1394 der HIPERLAN2 [HIP99] ein Standard für ein multimediales Highspeed Funknetz verabschiedet.

Für die Busmedien haben sich Protokollstandards für die Kooperation zwischen Geräten gebildet [MHP99, HAV98, OPN00, IHD00]. Einige dieser Standards stammen von den Herstellern von Set-Top-Boxen [SET00a], die seit Jahren versuchen, den Massenmarkt zu erreichen. Der Standard mit den besten Aussichten für den Einsatz in einem SmartHome, weil sehr universell und offen, ist Home Audio Video Interoperability (HAVi) [HAV98], der auf OSGI Open Service Gateway [OSG00] und damit auf Java (Fa. SUN) aufbaut.

Die Branche der Unterhaltungsgeräte leidet unter der Diskussion über Urheberrechte und Kopierschutzverfahren. Dieses vermindert erheblich die Kundenakzeptanz und verzögert die Markteinführung von Geräten und kann daher dazu führen, dass weiterhin Anteile an den PC-Markt verloren werden. Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass das Format MP3 [MP300] als „kopierbares" Audioformat und der Nachfolger MP4 [MP499] als Multimediaformat in Zukunft eine noch stärkere Rolle spielen werden. Es ist nicht sicher, ob der dynamische, hochflexible PC-Markt am Unterhaltungsmarkt merklich Anteile abgewinnt, denn obwohl sich jetzt schon PCs mit allen Eigenschaften von Audio-, Video- und Fernsehgeräten ausrüsten lassen, stellt fast niemand den Computer ins Wohnzimmer.

3.3.2.5 Telearbeit, PC-Anwendungen {WORKPLACE}

Bei vielen Arbeitsplätzen in Büros konzentriert sich ein wesentlicher Teil der Arbeit auf das Bearbeiten, Auswerten und Gestalten von Datensätzen. Dafür hat sich der PC, der vermehrt auch in den Haushalten zu finden ist, als ideales Instrument erwiesen. Da im Gegensatz zu teuren Büros, Heimarbeitsplätze billig sind, kann sich Telearbeit in Zukunft auf breiter Front durchsetzen. Es lässt sich außerdem eine zunehmende Internet-Abwicklung sämtlicher Prozesse in den publizistischen Medien und der Wirtschaft beobachten. Daraus folgt, dass der Ort von dem die Abwicklung verschiedener Arbeiten in Unternehmen erfolgen kann, immer flexibler wird. In Deutsch-

land ist der Anteil der Telearbeit im Vergleich zu anderen europäischen Ländern nur halb so groß; daher sind große Steigerungen zu erwarten.

Entscheidend für einen Heimarbeitsplatz ist der schnelle und dauerhafte Zugang ins Internet (Flatrate) und damit auch der Zugang zum Unternehmen. Dies geschieht über **Zugangstechnologien** (Access-Technologie). Es eignen sind hierbei mehrere Wege, die zu der benötigten technischen Qualität führen: die ADSL-Techniken der deutschen Telekom [TEL00], die Powerline-Techniken [SPL00, POL00] der EVU (Energieversorgungsunternehmen) [ENB00, RWE00], die Satelliten- und die Koax-Kabel-Zugänge und die Wireless-LAN-Anbindungen. Die Firmen dieser Felder konkurrieren untereinander sehr stark. Es ist aber nicht entscheidend, welche der Techniken zum Schluss dominiert, sondern dass man in Zukunft mit hohen Bandbreiten des Internetzugangs rechnen kann. Damit kommen auch automatisch bessere Infrastrukturen in das SmartHome und Techniken wie Bildtelefon, virtuelle Konferenzen werden auf einer breiten Basis möglich.

3.3.2.6 Medizinische und Pflegeversorgung {HOMECARE}

Um eine möglichst lange Lebenszeit der Bewohner in den eigenen vier Wänden und damit eine höhere Lebensqualität zu erreichen, ist es sinnvoll eine umfassende medizinische Versorgung zu Hause zu ermöglichen. Diese könnte sich, wenn man die Altersstrukturen und die Sätze in Alten- und Pflegeheimen betrachtet, zu einem beachtlichen Markt ausweiten.

Mit den Komponenten des SmartHome kann man, wenn einige spezielle Zusatzgeräte entwickelt und integriert werden, einen kompletten HomeCare-Service unterstützen [INS00b, HAU00]. Der Haushalt (Gasherd, Heizung usw.) und die Personen lassen sich fernüberwachen. Durch mobile medizinisch Geräte und Sensoren lassen sich im Alltag langfristig Daten sammeln. Mit den damit möglichen Alarmfunktionalitäten, Kameraüberwachungen und der direkten Ansprache über Bildtelefone lässt sich die Qualität medizinischer Betreuung Zuhause erheblich verbessern und schafft Raum für besondere Dienstleistungsunternehmen. Diese müssen SmartHome-Techniken professionell anwenden können. Interessant ist HomeCare auch unter dem Aspekt, dass dort schon in naher Zukunft erheblich mehr Mittel zu Verfügung stehen als beim durchschnittlichen SmartHome-Endkunden, weil der entstehende Nutzen unmittelbar einsichtig ist. Noch gibt es HomeCare nur in Forschungspilotprojekten oder als Insellösungen mit speziellen Gerätschaften [HEP96, HOM97].

3.3.2.7 Sicherheit {SECURITY}

Die meisten Sicherheitssysteme stellen sich als eine geschlossene Kommunikationswelt dar, was durchaus Sinn hat, weil man sich relativ sicher sein kann, dass bei einen geringen Verbreitung und firmeneigenen Systemen und Protokollen kein Internet-Hacker das Know-how besitzt, die Anlage zu manipulieren. Wenn man diesen hohen Sicherheitsstandard etwas zurücknimmt und die Bemühungen der Bussystemanbieter akzeptiert, dann lassen sich Alarmanlagen auch im Heimbereich in ein SmartHome integrieren und betreiben. Außerdem lassen

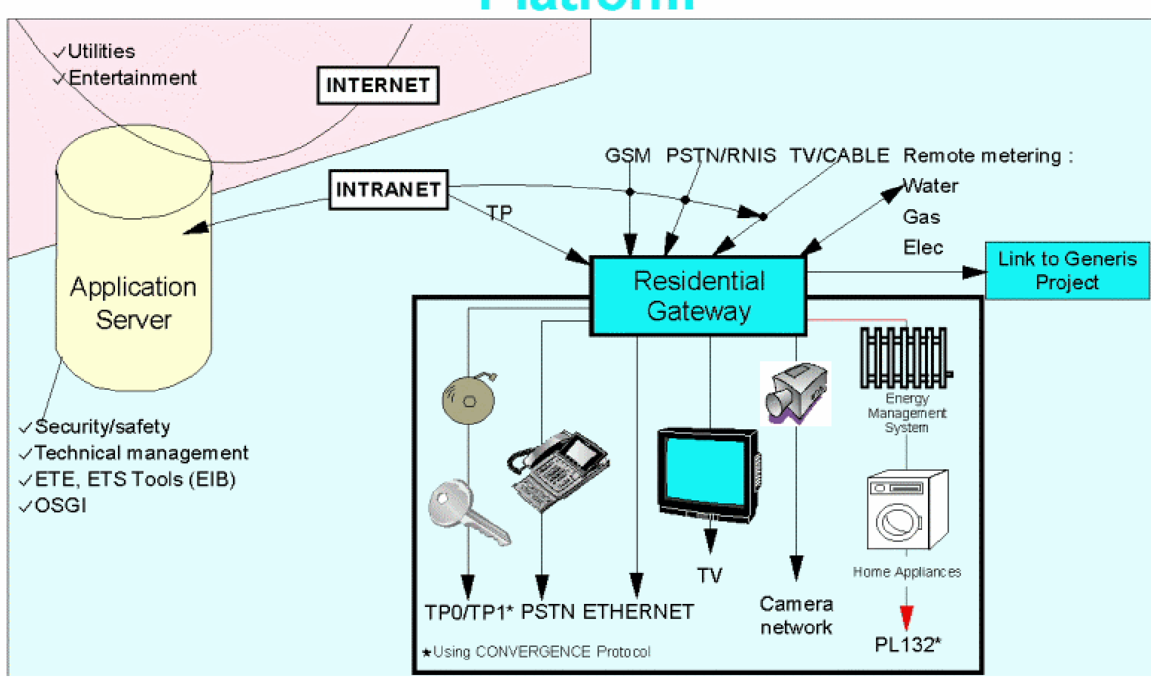


Abb. 3.27: SmartHome - Sicherheit

sich Fensterkontakte und andere Sensoren, die dazu verwendet werden die Anwesenheit der Bewohner registrieren, auch für die Heizungssteuerung mit benutzen.

In den USA ist der Bedarf an Sicherheitssystemen größer als in Europa und hat mehr Bedeutung bei Investitionen im Haus. Das ändert sich vielleicht in Zukunft auch in Europa, wenn sicherheitstechnische Maßnahmen in einem SmartHome fast zum Nulltarif und einfach zu realisieren sind.

Das folgende Szenario gibt es als in sich geschlossene Lösung zu kaufen. Das Haus befindet sich im „Sicherheitszustand". Durch einen Näherungssensor wird stiller Alarm ausgelöst, das Handy eines Bewohners wird angerufen. Der Besitzer kann dann mit einer Internet-WebCAM kontrollieren ob ein Anruf bei der Polizei wirklich nötig ist.

Viele Komponenten einer Alarmanlage sind, wenn sie vernetzt werden für andere Zwecke sinnvoll. Mit Näherungssensoren lassen sich hervorragend ortsabhängige Lichtsteuerungen realisieren. Durch genauere Positionsbestimmungen von Personen lassen sich allgemein ortsabhängige Kommandos und, in Verbindung mit einer Personenidentifikation für die Zuweisung von Benutzerrechten, erheblich mehr Möglichkeiten und Anpassungen des SmartHome an die Bewohner erlauben. Dies wird wohl erst in Zukunft, wenn viele Komponenten vernetzt sind, an Bedeutung gewinnen. Wahrscheinlich ist die Akzeptanz einer Ortsbestimmung mit Bewohneridentifikation erst der zweite Schritt, nachdem das SmartHome allgemein akzeptiert wurde (siehe auch {HOMECARE}).

Einen anderen Sicherheitsaspekt stellen die Zugangswege des Internet zum SmartHome dar (s. Abb. 3.27). Die Gateways und Access-Points sollen Bewohnern und Service-Providern den Zugang zu einem SmartHome erlauben, aber auf der anderen Seite äußerst sicher gegen das Eindringen von Hackern oder anderen Organisationen aus dem Internet sein. Gelingt es hier nicht, ein Vertrauenspotential in der Bevölkerung zu schaffen, wird der Vernetzungsrad der künftigen SmartHomes erheblich darunter leiden.

3.3.3 Eigenschaften von Systemen zur Hausautomatisierung

Das SmartHome kann aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten und Teilsystemen bestehen, von denen viele bereits auf dem Markt erhältlich oder als Prototypen realisiert sind. Es entsteht damit automatisch ein Gesamtsystem mit verteilter Funktionalität, bei dem Teile von unterschiedlichen Herstellern kommen, das immer aktiv ist und mit der Zeit verändert und angepasst wird (s. Abb. 3.28).

Die Frage muss daher lauten: Welche Eigenschaften müssen die jetzigen und zukünftigen käuflichen Teile besitzen, damit Endverbraucher die technische Herausforderungen der SmartHome- Integration akzeptieren und die Synergieeffekte der Vernetzung zu ihrem Vorteil nutzen können? Und wie wichtig ist die Anpassungsfähigkeit an die speziellen Anforderungen in Ein- und Mehrfamilienhäusern bzw. an die Bewohner?

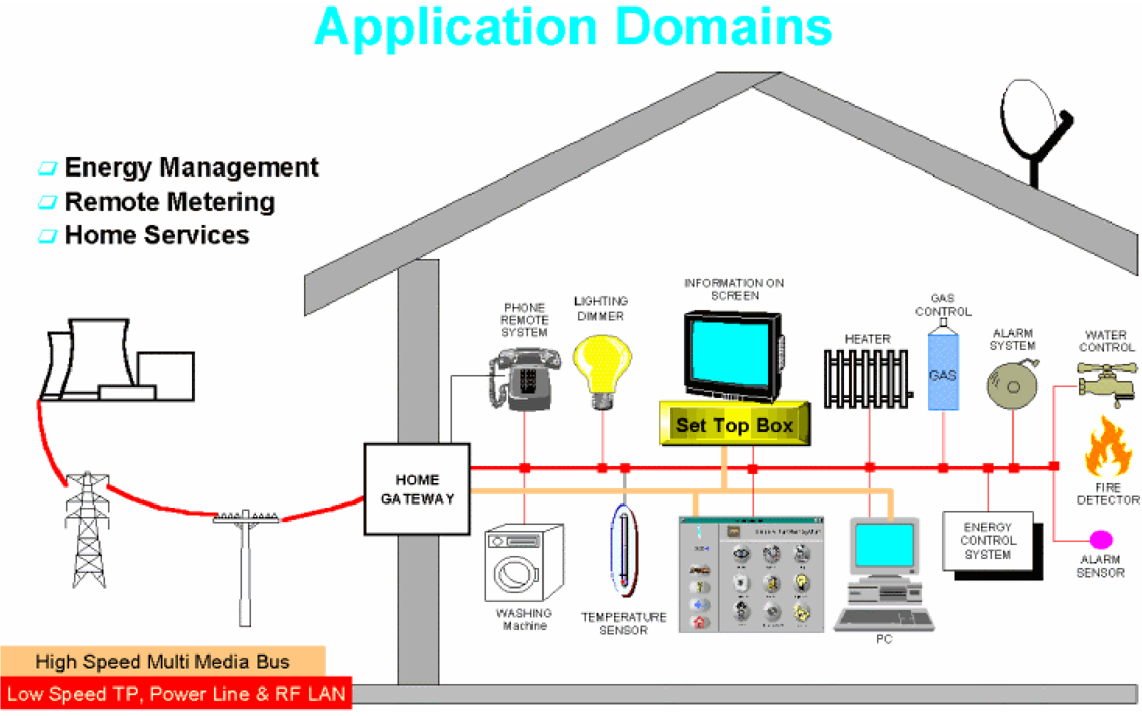


Abb. 3.28: SmartHome - Gerätevielfalt und Integration

3.3.3.1 Komponenten {COMPONENTS}

Unter einer Komponente versteht man eine funktionale Einheit aus einer einzelnen Ressource deren Daten und die dazu gehörenden Software-Servicefunktionen (s. auch Abb. 3.29).

So können Geräte durch Unterteilung von Hardware-Funktionalitäten, mehrere innere Komponenten enthalten. So besitzt zum Beispiel ein Lichtdimmer intern nur die Komponente Dimmer, eine Kaffeemaschine hingegen die Komponenten Kaffeeerzeugung, Uhr und Zeitsteuerung. Eine Set-Top-Box enthält aufgrund der Komplexität eine Vielzahl interner Komponenten.

Wie gut sind Komponenten kombinierbar und ersetzbar, d. h. wie groß ist die Skalierbarkeit der Systems?

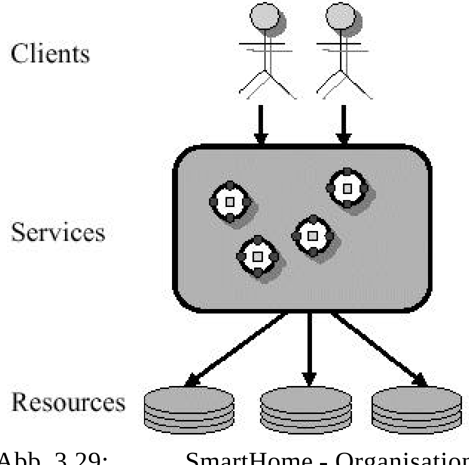


Abb. 3.29: SmartHome - Organisation

Im Moment versuchen einige Hersteller jeweils ein System als zentrale Bedien-Einheit in den Mittelpunkt eines SmartHome zu stellen. Die benutzerfreundliche Abbildung von Endgeräten als Komponenten mit Diensten und Ressourcen erfolgt dabei bereits als prototypische Anwendung sehr. Die Rolle dieser zentralen Bedien-Einheit wird von den Branchen aber jeweils aus ihrer Sicht gesehen, so ist für den Fernsehhersteller Loewe natürlich der Fernseher als universelles Darstellungs- und Eingabegerät Mittelpunkt des künftigen SmartHome, während Siemens mit dem HomeSet-Panel denselben Anspruch erhebt [HMS00]. Bei einer Umfrage wurde festgestellt, dass sich die Bewohner im Schnitt am häufigsten in der Küche aufhalten und auch dort die meisten Entscheidungen fallen. Demzufolge ist für den Kühlschrankhersteller Electrolux in Zusammenarbeit mit Ericsson in der Demohausreihe Värmdövik-Projekt mit 50 Häusern [E2H00] selbstverständlich der in den Kühlschrank eingebaute Touchscreen das Zentrum eines SmartHomes.

3.3.3.2 Systemorganisation {ORGANISATION}

Im Moment lässt sich ein SmartHome aus vielen Geräten mit verschiedenen Netzen aufbauen. Man erhält ein verteiltes System mit dezentraler Intelligenz und Datenhaltung. Auch die Teilnetzwerke sind auf diese Art organisiert und arbeiten in der Regel nachrichten- bzw. ereignisorientiert.

Ein Benutzer sollte in die Systemorganisation keinen Einblick bekommen. Für ihn sollte sich sein SmartHome als homogenes Gebilde mit einfachem Zugriff auf Komponenten, Netzwerk-Dienste und Daten darstellen. Obwohl eine Untergliederung des SmartHome in Teilsysteme mit eigenen Netzwerken aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen auch in Zukunft unvermeidlich scheint, kann ein homogenes Gebilde durch Gateways mit Protokollumsetzungen erreicht werden.

Welche Teile eines SmartHomes eine gemeinsame Datenhaltung (Server) besitzen oder an welcher Stelle sich ein Gateway befindet, wird der Nutzer erst merken, wenn etwas ausfällt oder gewartet wird.

Eine komplette zentrale Datenhaltung lässt bei den heterogenen Anwendungsbereichen (siehe Kap. 3.3.2) wahrscheinlich nicht erreichen. Eine Protokollierung und Erfassung von Geräten, deren Konfigurationen und Parametern scheint über mehrere Teilsysteme hinweg möglich und wird eine Online-Produktdatenerfassung erlauben.

Da der Aspekt eines zentralen Rechteservers auch bei den Protokollstandards [OSG00, HAV98, HAN00b, UPN00] nicht ganz geklärt ist, wird es nötig sein, bei dem Zugriff auf andere Teilsysteme über Gateways, Rechte erneut zu vereinbaren. Oder es wird innerhalb eines verknüpften Teilsystem auf benutzerabhängige Sichtbarkeiten und Beschränkungen bzw. verzichtet.

Die Systemorganisation eines SmartHomes hat also durchaus Ähnlichkeit mit der Struktur eines PCs und der Vernetzung mehrerer PCs im LAN. Überhaupt scheint ein PC mit seinen Schnittstellen [ETH00, FIR00, USB00] und Software-Möglichkeiten (Plug&Play, Hot-Plug&Play) ideal geeignet zu sein, um in einer embedded-Version als Server und/oder Gateway eingesetzt zu werden. Wegen der Komplexität besteht auch schon bei den heute verfügbaren Gateways die Möglichkeit der Fernwartung über das Internet oder die komfortable Konfiguration mit Browsern.

3.3.3.3 Datenarten {DATATYPES}

Im SmartHome existieren alle grundlegenden Datenarten, wie in der Automatisierungstechnik auch, jedoch mit geringen Echtzeitanforderungen. Das sind zum Beispiel Umweltdaten, Ist-Daten, Soll-Daten, Stelldaten und Zeitangaben mit zusätzlichen Eigenschaften wie absolut, relativ oder differenziell.

Die unterschiedlichen Datenformate erstrecken sich von Binärdaten, Rohdaten, Analogwerten über Datenpakete wie Textnachrichten, Bilder, Dokumente bis zu Entertainment-Daten. Für Audio- und Video-Daten braucht man möglichst isochrone Datenübertragungswege. Wenn nur asynchrone Übertragungswege zur Verfügung stehen, können ausgefeilte Softwaretechniken helfen wie bei VoIP (Voice over IP) [VOI00].

Überdies gibt es noch systeminterne Daten, wie Quittungen, Zustände, Fehler und Protokolldaten, oder die Möglichkeit, auf gespeicherte Daten in Datenloggern zuzugreifen. Es ist Aufgabe der Gateways für eine reibungslose Umsetzung der Daten zwischen den Netzen zu sorgen. Betrachtet man mehrere erhältliche Systeme, so ist es momentan durchaus eine Leistung, wenn herstellerübergreifend der reine Datenaustausch in einem der Anwendungsbereiche funktioniert (Siehe Hausbussysteme LON-EHS – Kopplung der Fa. SIPRO).

3.3.3.4 Interner Datenaustausch {COMMUNICATION}

Es existieren schon heute mehrere Netzwerke bzw. Bussysteme zu Hausautomatisierung. Wegen der unterschiedlichen Anforderungen gibt es für jeden Bereich mehrere konkurrierende Netzwerklösungen:

In der Hausgerätesteuerung konkurriert der von Siemens und europäischen Partnern entwickelte EIB (European Installation Bus) mit dem international erfolgreichen LonWorks der Fa. Echelon und dem etwas eingeschränkten System X10 [X1080] aus den USA. Alternativ gibt es, geeignet für gewerbliche Neubauten, die einfallsreiche aber nicht sehr verbreitete Lösung LCN [LCN00]. Der Kommunikationsbedarf der Hausgerätesteuerungen ist sehr niedrig, ca. 2400 Baud bis 9600 Baud reichen daher als Transfergeschwindigkeit von Nachrichten aus. Die Nachrichten in Bussystemen können im Regelfall nach der Übertragung quittiert werden., Ein Fehler bei der Übertragung löst entsprechende Maßnahmen aus. Bei EIB waren am Anfang quittierte Nachrichten nicht vorgesehen, so müssen auch jetzt noch die einzelnen Aktorknoten für Quittierbetrieb programmiert werden. Auch die Art der Nachrichten ist unterschiedlich. Während EIB die Anweisungen in den Aktoren hält, befinden sie sich beim LCN in den Telegrammen, während LON auf der Basis von öffentlichen Variablen arbeitet. Um eine Vorstellung zu vermitteln, wie komplex Befehle sein können, sei ein Beispiel eines LCN-Kommandos an einen Knoten genannt: „An Node31, Dimme Ausgang 2 innerhalb von 10 sec auf 85 %".

Im Kommunikationsmanagement geht es um Zugangstechnologien, d. h. die Internet-Anbindung und die Integration mit Telefonanlagen bzw. in Zukunft mit dem Bildtelefon und „Voice over IP" (VoIP) [VOI00]. Es konkurrieren die Deutsche Telekom mit Satelliten- und Kabel-Anbietern und Powerline-Systeme der EVU. Lösungen, die vorhandenen Telefonleitungen zusätzlich als low-speed Haus-LAN (bis 5 Mbps) nutzen wollen, bieten zum Beispiel die Firmen von HomePNA (Home Phoneline Networking Alliance) [HPN00] an.

Beim Haus-LAN gibt es zwei übliche Lösungen zur Übertragung: das Twisted Pair 10 Mpbs sternverkabelt oder Ethernet-Koaxkabel busverkabelt. Die Highspeed-Verbindung über ein LAN-Kabel 100 Mpbs und 1000 Mpbs lohnt sich aber nur lokal für einen PC-Arbeitsbereich oder wenn in einer Wohnanlage mit einem größeren Netzwerk gemeinsame Ressourcen wie Drucker, Internet oder Server genutzt werden. Trotzdem existieren Bestrebungen wegen der Verbreitung und der immer günstigeren Anschaffungskosten über das relativ schnelle Ethernet langsame Hausgerätesteuerungen aller Art mit einfachen Embedded-Systemen zu etablieren [EMW00]. Ähnliche Trends sind in der Industrie auch zu beobachten.

Für die Anbindung von mobilen Geräten via Funk im Nahbereich eignet sich besonders Bluetooth [BLU99]. Bluetooth wurde für batteriebetriebene Kleinstgeräte optimiert und bildet mit mehreren Geräten (Digital-Kamera, MP3-Player, Fernbedienung, Handy usw.) ein sogenanntes Piconet. Dieses erlaubt hersteller-unabhängig das Übertagen von Daten und Kommandos. Das Wireless-LAN eignet sich besser für größere Geräte mit Stromversorgung am Netz und mit hohem Bedarf an Bandbreite und ist günstig, wenn man für das Haus-LAN keine Kabel verlegen möchte.

Der Entertainment-Bereich braucht sehr große Bandbreiten von außerhalb in die Wohnungen. Bisher sind die Lösungen für analogen Empfang noch am weitesten verbreitet. Es zeichnet sich die nächste Generation von Unterhaltungsgeräten mit DVB (Digital Video-Broadband) [DVB00] als Standard ab. Geräte sind in vielfältigen Ausführungen zu kaufen. Besonders bei Set-Top-Boxen verspricht der DVB-MHP-Standard (Multimedia Home Platform) [MHP99] für die Interoperabilität mit anderen Geräten erfolgreich zu sein.

3.3.3.5 Aktionen und Abläufe {ACTIVITY}

Im SmartHome existieren viele Möglichkeiten durch Ereignisse Aktionen auszulösen. So sind An- und Abschaltvorgänge im allgemeinen einfach. Jedoch können die Anforderungen von Tastern und Schaltern aus dem Bereich der Lichttechnik durchaus anspruchvoll werden. Es kann nötig sein, dass ein Taster beim Drücken oder beim Loslassen oder durch anhaltendes Drücken jeweils andere Aktionen einmal oder zyklisch auslösen soll. Dieses gilt für fast alle Eingabegeräte und Sensoren, die durch Ereignisse programmierbare Abläufe und Aktionen triggern sollen. Bosch Domotik [DOM00b, DOL00a] bietet auf EHS-Basis [EHS95, EHS00a] dafür eine kompakte Lösung als Hutschienenaufsatz an. Hierbei werden mehrere Aktionen zu Szenarien zusammengefasst, von Szenariencontrollern verwaltet und sind daher jederzeit abrufbar [EIE00, BTI00].

Noch nicht gelöst ist der systemübergreifende Zugriff auf durch Ereignis ausgelöste Szenarien aus mehreren Einzelaktionen, da die Protokolle bisher rein nachrichten- und kommandoorientiert bezogen auf Geräte und Komponenten arbeiten. D. h. man wird vorerst zeitliche Abläufe auf multimodale und systemübergreifende Weise nur auslösen, nicht aber verändern können.

3.3.4 Benutzer und Anwender

3.3.4.1 Anwender-Zielgruppen {USER}

Zu den Zielgruppen zählt jeder, der sich mit der Vorstellung eines SmartHomes anfreunden kann und damit ein besseres und angenehmeres Wohnen verbindet. Es gibt viele Gruppen, die besonders von einem SmartHome profitieren können: die Bewohner von Niedrigenergie- und Passivhäusern, die sich Einsparungen und eine Erleichterung des Raumklimamanagements wünschen, oder die auf Sicherheit bedachten Bewohner von Einfamilienhäuser, die zusätzlich noch alle möglichen Geräte steuern möchten, oder jemand der den Vorteil eines Fernzugangs mit dem Internet schätzt.

Ziel ist ebenso, die Familie bzw. die soziale Gruppe zu unterstützen, die ihr Leben in einem SmartHome organisiert, d. h. Ressourcen teilt, Beschaffungen tätigt, Nachrichten austauscht oder anders kommuniziert und sich auf verschiedene Arten ihre Freizeit gestaltet. Bei einer Familie mit Kindern kann mehr Sicherheit erreicht werden, wenn Einschränkungen der Zugriffsmöglichkeiten einfach zu realisieren sind, wenn zum Beispiel alle „Küchengeräte abschalten und sperren“ ein einfaches Kommando ist.

Die Teilintegration von Pflegediensten, dem „HomeCare“-Bereich oder auch „Elderly and Disabled people“ (E&D) [HAU00], erlaubt es, dass man durch eine Tele-Betreuung einen besseren, kostengünstigeren und längeren Lebensabend Zuhause verbringen kann, als das ohne SmartHome möglich wäre. Wer selbst das Krankenbett hütet, dem werden schnell die Vorteile eines SmartHomes bewusst. Immerhin wird der Anteil von Menschen, die im täglichen Leben beeinträchtigt sind, auf 13% der Gesamtbevölkerung der EU geschätzt. Ein einfaches Beispiel für Schwerhörige sei hier genannt: Wenn das Telefon klingelt, wird auf dem Fernsehgerät eine Meldung eingeblendet [TUB00].

Weitere Nutznießer eines SmartHomes sind Tele-(Heim-)Arbeiter/innen mit büroähnlichen PC-Arbeitsplätzen. Diese Gruppe benötigt hauptsächlich Zugangstechnologien, d. h. einen schnellen Internetzugang, kann aber mit einer besseren PC-Infrastruktur auch die sonstigen Ressourcen eines SmartHomes optimal nutzen.

3.3.4.2 Benutzerinteraktionen {INTERACTION}

Sollte der Zugriff auf Informationen und das Kontrollieren des SmartHome graphisch erfolgen? Und welche Auflösung ist dann gefragt? Reicht zum Bedienen ein Touchscreen mit grober Sensormatrix aus oder braucht man eine Tastatur? Oder haben alle Handys in Zukunft Bluetooth und können daher lokal kostenlos mit SmartHome-Geräten interagieren? Letzteres zeichnet sich bereits als Trend ab. Bei diesen Fragen wird klar, dass der Zugriff auf ein SmartHome multimodal erfolgen muss. Eine multimodale Bedienung erlaubt verschiedenen Anwendern den gleichzeitigen Zugang zum SmartHome nach ihren jeweiligen persönlichen Präferenzen und Nutzungsgrad. Nach einer CEMA-Umfrage [CEM00a] möchten 31 Prozent lieber eine Fernbedienung während 23 Prozent den Computer benutzen würden.

Für die Hausgerätesteuerungen und Beleuchtung reichen die üblichen festinstallierte Tasten – Druck und Drehschalter, Lichtschranken, Druckschaltungen und Fernbedienungen als Grundausstattung aus. Möchte man einen besseren Zugang mit aufwendigem Display, so ist ein Handy mit (WAP) oder HAVi [HAV98] per Bluetooth oder ein SmartHome-Manager wie Siemens HomeSet [HMS00]. Wenn man Zahlen und Buchstaben vernünftig eingeben möchte, braucht man eine Tastatur oder einen PenComputer. Handheld-Rechner und Organiser gibt es bereits mit Bluetooth- und HAVi-Schnittstelle bzw. werden gerade entwickelt. Sie eignen sich hervorragend für universellen mobilen Zugang zum SmartHome. Die Sprachsteuerungen (NLR, Natural Language Processing) sind noch nicht so zuverlässig und universell entwickelt, dass man sie in viele Endgeräte implementieren konnte. Kein Hersteller geht momentan zum Beispiel so weit, dass er auf Display und Tastatur verzichtet und sich nur auf eine Sprachsteuerung verlässt. In angepassten Lösungen erfüllen sie aber bereits jetzt sinnvolle Aufgaben [INS00b]. Für eine volle Unterstützung sprachbezogener Kommunikation zwischen Gerät und Mensch fehlt die Softwarearchitektur in den Betriebssystemen oder wird erschwert durch eher grafisch orientierte Schnittstellen und Protokolle für HMIs (Human Man Interface) eines SmartHome [FUT00, WCE00, WAP00, HAV98]. Gesture Recognition (GR)-Systeme sind im Ansatz erforscht, prototypisch erprobt [COG98], aber nicht in der Praxis akzeptiert und eingeführt.

Die nächste Softwareebene nach der einheitlichen Abbildung und dem multimodalen Zugang sind Assistenzprogramme, visualisiert als Avatare. Implementierungen in erste SmartHomes wird es erst in Zukunft geben.

3.3.4.3 Systemanpassungen an Benutzter {USERADAPTION}

Ein Benutzer hat auf mehrere Arten, also multimodal, Zugriff auf sein SmartHome. Obwohl das SmartHome aus einem gekoppelten System mit meist mehreren unterschiedlichen Netzen besteht, sollten beim Zugriff des Benutzers technische Aspekte der Zugriffsart keine Rolle spielen. In einer Hausgemeinschaft haben unterschiedliche Benutzer aber verschiedene Vorlieben und Zugriffsrechte. Das Einrichten und Anpassen der SmartHome-Konsolen und Kontrollgeräte sollte allmählich, je nach dem Bedarf der Bewohner und von den Bewohnern selbst vorgenommen werden können. Die Anpassung der momentan erhältlichen, meist mit Bildern ausgestatteten SmartHome-Manager [HMS00, HON00] kann nur in beschränktem Maße selbst vorgenommen werden.

Ein individuell gestalteter Zugang eines bestimmten Benutzers setzt ein Login-Vorgang oder eine andersartige Benutzeridentifikation voraus. Über das Internet ist dieser Zugang am einfachsten, da man aus Sicherheitsgründen Benutzernamen und Passwort braucht. Dies ist auch in den heute käuflichen Systemen so realisiert. Bei lokalen SmartHome-Zugängen würde eine Benutzerkennung für die Realisierung von verschiedenen Sichtbarkeiten ausreichen.

Auch von einem lernenden System mit automatischer Anpassung an Benutzergewohnheiten ist man heute noch weit entfernt. Die höchste Stufe der Anpassung eines SmartHome an die Bewohner kann man durch anwesenheitsabhängige Steuerungen erreichen. Das Orwell'sche Szenario [FUT00] erlaubt zugleich den größten Komfort, das SmartHome kennt jeden einzelnen Bewohner, weiß wo dieser sich aufhält, kann also orts- und benutzerabhängig optimal reagieren, birgt aber auch die größten Gefahren in sich, wenn unerlaubtes Eindringen übers Internet in ein SmartHome erfolgt.

Um älteren Menschen ein längeres Verbleiben in der eigenen Wohnung durch alters- und bedürfnisgerechte Anpassung der Wohnumgebung zu erlauben, kann gerade eine solche Überwachung sehr sinnvoll sein (siehe Kap. 3.3.2.6 HomeCare).

3.3.4.4 Akzeptanz {ACCEPTANCE}

Wegen der Vielzahl der Möglichkeiten und der daraus resultierenden Komplexität wird folgende Frage immer wichtiger „Was möchte man im Haus automatisieren und wie viel Technik und Komplexität wird akzeptiert?". Die Zielgruppen unterscheiden sich enorm in der Bandbreite ihrer Technik-Akzeptanz und erfordern individuelle Ausführungen der HMI. Das mobile Zugangsgerät für das Kommunikationsmanagement und einfache Steuerungen für E&D („Elderly and Disabled") sieht ganz anders aus als die für eine dreiköpfige Durchschnittsfamilie.

Man kann die generelle Akzeptanz von SmartHome durch Spracheingabe und Dialogsystematiken, d. h. multimodalen Zugriff, und einer weiten Skalierbarkeit der HMIs, d. h. variable Technikpräsenz, erhöht werden. Der technisch Versierte kann hochauflösende Grafikterminals, z. B. Siemens HomeSet [HMS00] oder den Kühlschrank mit Terminal und Sprachsteuerung verwenden. Andere Nutzer möchten maximal eine Fernbedienung als Zugang oder beschränken sich auf den Fernseher grafischen SmartHome-Manager.

Ein wichtiges psychologisches Moment beim SmartHome ist, dass die Bewohner jederzeit das Gefühl haben müssen ihr SmartHome zu beherrschen.

Ein weiterer psychologisches Aspekt ist, besonders in den USA, dass keine unbefugte Organisation die geringste Möglichkeit hat, über das Internet in die eigenen vier Wände einzudringen. In Deutschland dagegen gibt es Gesetzte um den Zugang von staatlichen Stellen zu Kommunikationsmittel zu ermöglichen. So wurde zum Beispiel in ISDN-Anlagen per Spezifikation Hintertüren eingebaut, die ein Abhören ermöglichen!

Eine der Grundvorrausetzungen, um ein SmartHome zu akzeptieren, ist die Hot-Plug&Play-Fähigkeit bei der Gerätevernetzung, was zu dem Begriff Home-Plug&Play führte. Selbstverständlich schließt das nicht aus, dass Service-Provider beschränkten Zugang erhalten, zum Beispiel auf Gateways oder auf die Heizungsparameter und damit verschiedene Dienstleistungen anbieten. Die Erwartungen verschiedener Branchen auf einen zukünftigen Service-Markt, dass nämlich für jede Anpassung, die komplette Wartung und die Inbetriebnahme von Geräten jedes Mal von einen oder mehreren Service Providern realisiert wird, ist sehr aufwendig, zu teuer und psychologisch ungünstig.

Der größte Synergieeffekt eines SmartHome sind neue Funktionalitäten, die durch Kombination von fast allen Sensoren und Bedienstationen mit allen Aktoren und Ausgabeeinheiten erreicht werden. Können die Bewohner dieses selbst zu Stande bringen, werden die Funktionen des SmartHome als eigene Leistung und daher sicher am besten akzeptiert. Davon sind die momentan käuflichen Systeme noch weit entfernt. Aber durch die vor kurzem vereinbarten Protokolle [HAV98, UPN00, MHP99, BLU99] steht einer solchen Zukunft nichts mehr im Wege.

3.3.5 Vernetzungen

3.3.5.1 Interne Netzstrukturen und Funktionalitäten {STRUCTURE}

Die Installationsbussysteme [LON00, KNX00a] haben aufgrund ihrer Vernetzung und durch im Protokoll festgelegte Eigenschaften aus denen sich Möglichkeiten zur Strukturierung aber auch Beschränkungen ergeben.

Wie werden Funktionalitäten softwaretechnisch strukturiert? Gibt es interne (Baum-) Hierarchien, Listen von Diensten oder sind alle Werte dieses Netzwerks quasi als globale Variablen über feste Namen referiert, z. B. wie bei LON [LON00]? Ist die innere Struktur heterogen oder homogen ausgeführt? Lassen sich Teile des Systems kapseln, d. h. Gruppen bilden wie bei LONWORKS [LON00], und schafft man damit ein einfacheres Abbild? (Siehe Abb. 3.30).

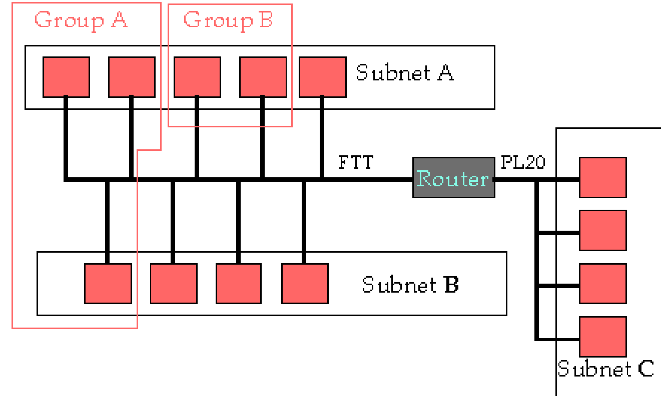


Abb. 3.30: SmartHome - LONWORKS-Netztopologien

Interessant werden solche Fragen, wenn man versucht in einem SmartHome mehrere Systeme über Gateways zusammenzuführen. So sollten Gateways nicht nur nach ihrer Fähigkeit Daten zu konvertieren und auszutauschen beurteilt werden, sondern nach ihrer Fähigkeit, Strukturen der Teilsysteme zu unterstützen und abzubilden.

3.3.5.2 Interne Vernetzungsmöglichkeiten {COOPERATION}

Welche Möglichkeiten existieren, um die Komponenten in einem System zu vernetzen? Wird automatisch vernetzt (Plug&Play)? Wie werden Daten ausgetauscht und liegen die Daten verteilt oder auf einem Server? (Siehe auch [C&A00, CTH00a]).

Ein Beispiel für die Konvergenz der Hausbussysteme ist der neue Konnex-Standard [KNX00a, KNX00b] in Europa (Abb. 3.31). Er besteht aus dem französischen Batibus [BAT00], dem deutschen EIB [EIB00] und dem europäischen EHS [EHS00a]. Der EIB wird von einer beachtliche Liste von Geräteherstellern unterstützt und ist hauptsächlich für das Gebäudemanagement entstanden.

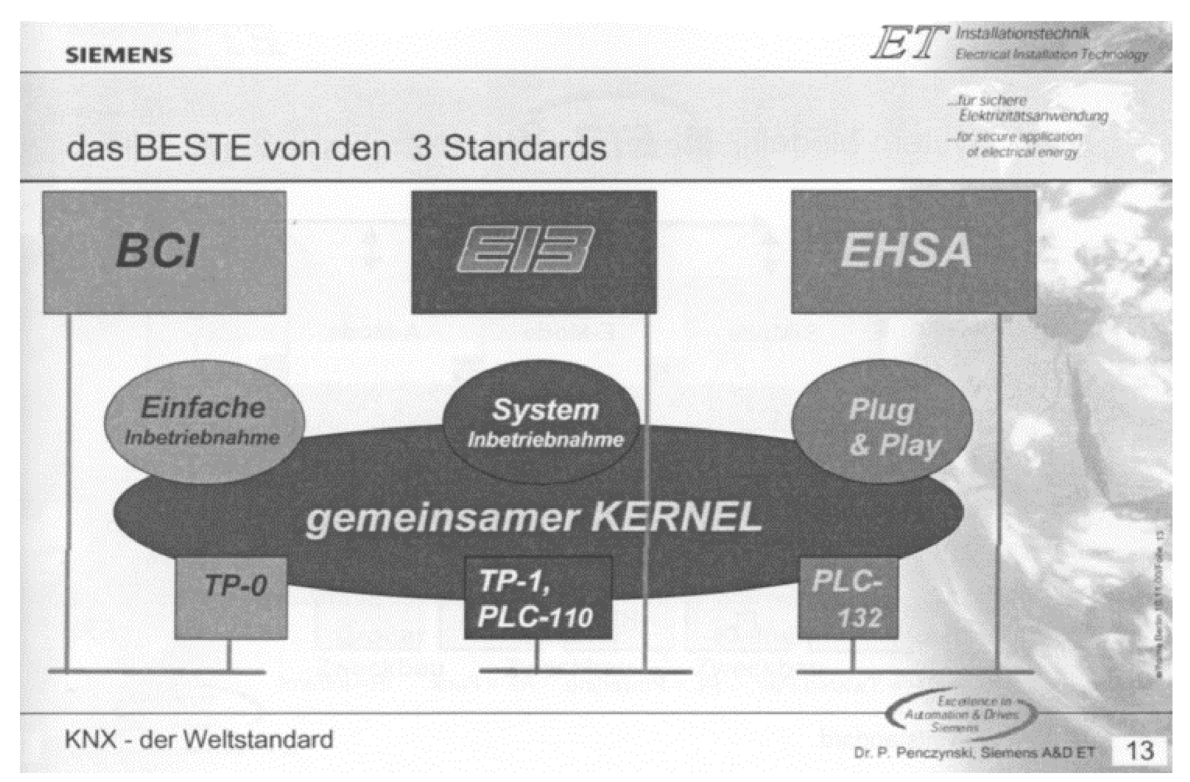


Abb. 3.31: SmartHome - Konnex - Drei Standards in einem

Von diesem Standard ist für den Massenmarkt der Heimautomatisierung eigentlich nur der sogenannte A-Mode von EHS geeignet, da dieser Plug&Play erlaubt und sehr billige Lösungen erreicht. Dieser ist aber sehr neu, ca. Juni 2000, und es gibt erst ab Frühjahr 2001 Produkte zu kaufen. Prinzipiell gilt für Konnex, dass man die Lösungen A-, E- und S-Mode mit den bisherigen Geräten auf dem Markt leider nicht zugleich am selben Netzwerkmedium, zum Beispiel Powerline, betreiben kann (Abb. 3.32).

UPnP und OSGi-HAVi (Java-basiert) bilden die zwei maßgeblichen Protokoll-Standards um Plug&Play-Netzwerke in SmartHomes zu realisieren. Hinter UPnP stehen maßgeblich Fa. Microsoft und Fa. Intel, und unter OSGi-HAVi haben sich Fa. Sun und fast alle Hersteller von Unterhaltungsgeräten zusammengefunden. Daneben gibt auch noch andere Möglichkeiten: z. B. HomePlug [HPL00] oder JINI [JIN00] (Java-basiert). Prinzipiell sind diese Protokolle medienunabhängig, sind aber wegen der Möglichkeiten des Internetzugriffs auf TCP/IP-Netzen, also am Ethernet, am Besten implementierbar.

Ein Ethernet lässt sich hierbei auf Basis von Twisted-Pair-Leitungen (10BASE-T, 100BASE-TX bzw. 100BASE-T4) als Peer-To-Peer-Sternverkabelung realisieren. Oder man kann Ethernet 10BASE2 als klassisch verzweigter Bus mit einem konstanten Wellenwiderstand und an jedem Ende mit Widerstandsabschlüssen mit demselben Wert verwirklichen. Generell tendieren alle kabelbasierten Übertragungsmedien für höhere Geschwindigkeiten zu letzterer Beschaltung, aber als Peer-To-Peer-Verkabelung.

Hat man sowieso ein Ethernet im Haus verlegt, so kann man damit auch Geräte steuern. Die Initiative emWare [EMW00] hat es zum Beispiel geschafft nahezu alle Chiphersteller unter einen Hut zu bringen und dafür zu sorgen dass man mit kleinen billigen Chips über ein eigenes Protokoll am Ethernet und einem embedded Gateway mit Webserver, Kleinstgeräte vom LAN an das Internet bekommt (s. auch [DOL00b]).

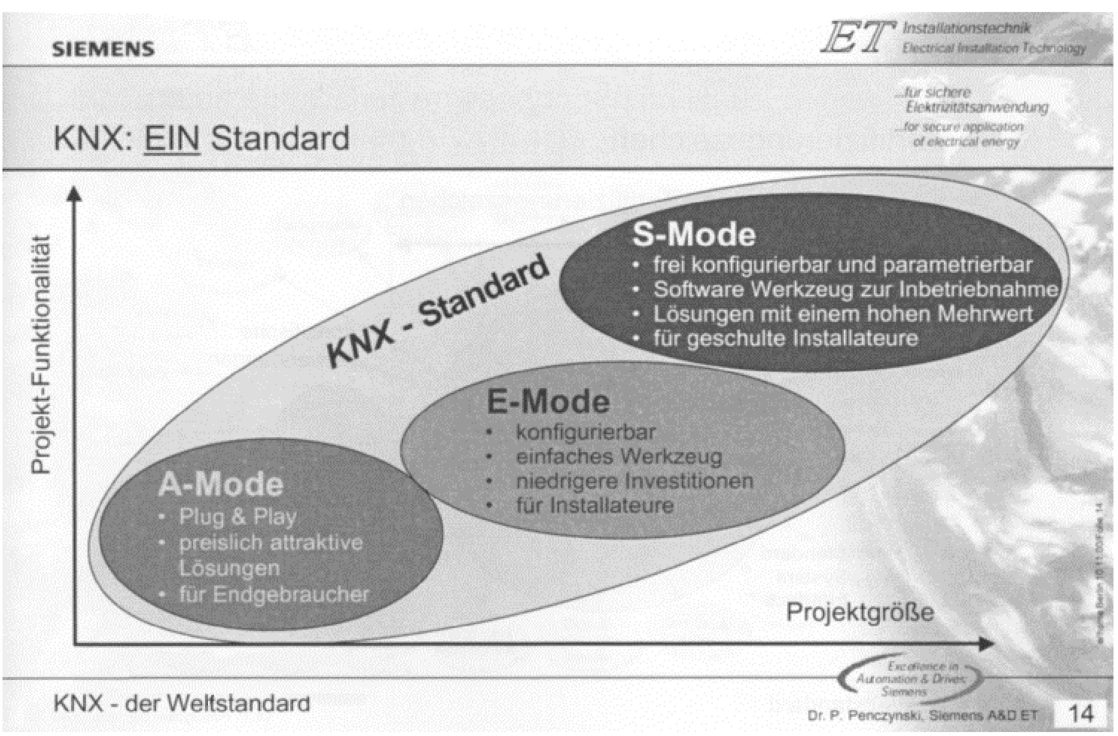


Abb. 3.32: SmartHome – Konnex-Modi

3.3.5.3 Vernetzungen mit andern Systemen {COLLABORATION}

Das Hausautomatisierungssystem hat eine feste Installation in der Wohnumwelt. Bei der Vernetzung von Systemen mehrerer Hersteller helfen nur normierte Schnittstellen, Protokolle und Formate, realisiert mit Gateway-Technologien (s. LON-EHS von Fa. SIPRO). So lässt sich LONWORKS [LON00] über einen Gateway mit JINI [JIN00] managen, mit HAVi-Fähigkeiten ausstatten oder in Zukunft durch einen Gateway mit UPnP-Implementierung [UPN00] an ein Ethernet anschließen.

Da fast alle Hersteller eine Anbindung ihrer Geräte und Gateways an das Internet erreichen wollen, ist das Ethernet das bevorzugte Medium zur Systemintegration für Festinstallationen im Haus. Auf der anderen Seite integriert der Bluetooth-Standard [BLU99] kabellose Geräte. Über Bluetooth können Protokolle gefahren werden, bei denen fast alle Hersteller mitgewirkt haben oder interessiert sind. Bluetooth hat daher die Fähigkeit neben eigenen Protokoll-Layern andere Protokolle zu unterstützen, wie zum Beispiel RFCOMM, TCS-BIN, Telefon AT-Commands, UDP, IP, PPP, OBEX und WAP (s. Bluetooth Spez. 1.0 [BLU99]).

Wir werden in Zukunft vermehrt über mobile Multimediageräte verfügen. Daher ist der reibungslose Datenaustausch und Zugang mit Hilfe von unterschiedlichen Protokollen nötig. D. h. Bluetooth in Verbindung mit den Softwareschnittstellen UPnP(→Microsoft, Intel) und OSGi(→Java, SUN) [OSG00] bzw. HAVi [HAV98] werden wahrscheinlich zur Standardausführung künftiger mobiler Geräte gehören. Die Protokolle UPnP und OSGi konkurrieren herbei nicht zu hundert Prozent, sondern könnten sich in durchaus sinnvoll ergänzen. UPnP erlaubt z. B. Plug&Play und die verteilte Ressourcennutzung in IP-ähnlichen Netzen durch Austausch von XML-Paketen [XML00], während OSGi-HAVi Daten, Treiber und Programme durch die Java-basierte Transportschichten austauscht.

Drei Anwendungsarten sind maßgeblich, die Fernsteuerung, der Austausch von Multimedia -Daten-Files und die Online-Telekommunikation in Ton und Bild. Folgendes Szenario ist heute schon demonstrierbar: Der portable MP3-Player (Bluetooth-fähig) erkennt in der Wohnung automatisch externe Abspielgeräte. Man kann somit „Play-Extern" wählen und bekommt z. B. die Set-Top-Box oder den PC als Abspielgerät wählen. Oder man möchte von einer DigiCam über Bluetooth ein Bild extern anzeigen und bekommt den Fernseher, den PC oder den Farbdrucker als Vorschlag.

Set-Top-Boxen, die aus Internetzugang, Multimedia-Anlage und Fernseher bestehen, sind sehr schwierig am Markt durchzusetzen, weil man mit dem Fortschritt der verschiedenen (Internet-)Technologien Schritt halten muss und daher eigentlich regelmäßig Wartungen und Updates braucht. Deshalb gehen diese Hersteller dazu über, Set-Top-Boxen als PC mit äußersten Zugangsbeschränkungen auszuführen. Surfen über Internet-Seiten ist anspruchsvoll. Man braucht wegen der Grafikorientierung von Webseiten ein Zeigerinstrument und für wenige Momente (Emails, Login) eine griffbereite Tastatur. Beides ist bei Fernsehern bisher unüblich. Zusätzlich sieht man aufgrund der schlechten Auflösung und Qualität (Kontrast) eines herkömmlichen Fernsehers einen kleinen Ausschnitt der Webseite und benötigt daher mehr Scroll-Vorgänge beim Surfen.

Unsinnig wäre es, mehrere Internet-Zugänge pro Haushalt beispielsweise Powerline, ISDN und Wireless-LAN zu haben, aber auch dieses lässt sich bei dem hart umkämpften Markt im Einzelfall wohl nicht vermeiden. Schließlich möchten viele Hersteller ihre „eigenen" Internet-Zugriff-Systeme, z. B. per ISDN, WAP und Email verkaufen.

Eine Schnittstelle zu Planungsdaten und zu einem 3D-Gebäudemodell für eine grafische HMI in einem SmartHome gibt es bislang nicht. Bei den professionellen Gebäudemanagern gibt es aber Schnittstellen zu Planungstools der Installationstechnik, so gibt zum Beispiel Vaillant [VAI00] TGA (Technische Gebäudeausrüstung)-konforme, normierte Produktdatensätze heraus. Manche Hersteller haben auch eigene Planungssoftware für Eigenheime entwickelt [SIE00, BTI00].

Für das Gebäudemanagement hat sich das Protokoll BACnet [BAC00] auf der Managementebene international etabliert. Mit BACnet lassen sich Gebäude mit verschiedensten Hausbussystemen (z. B. EIB, LON) gemeinsam mit einer Software direkt oder per Internet betreiben und warten.

3.3.5.4 Netzwerkmedien {NETWORKMEDIA}

Gemeinsame genutzte Medien zur Vernetzung und Kommunikation eigenen sich aufgrund technisch-physikalischer Bedingungen für verschiedene Anwendungen. Für die meisten Hausbussysteme existieren jeweils unterschiedliche Übertragungsmedien. So gibt es bei EIB den kabelgebunden Instabus und Powerline, aber leider noch kein Wireless, da die Fa. Bosch, als maßgeblicher Partner, aus dieser Entwicklung ausgestiegen ist. Bei LONWorks ist Powerline (ANSI-Standard PLT22) für Hausautomatisierungen üblich. Daneben gibt es auch Twisted-Pair, Koaxialkabel, Glasfaser und verschiedene Funkbänder die für Fabrikautomationen verwendet werden. Der X10-Bus [X1080] arbeitet über Powerline, Coax und Funk. Für LCN braucht man einen zusätzlichen Draht, d. h. es wird statt der drei-adrigen Kabel einfach ein vier-adriges benutzt. LCN ist daher nur für Neubauten gut geeignet.

Bei **Wireline-Netzwerken** stellt das Ethernet in den Ausführungen Yellow-Cable (busverkabelt), Thin-Ethernet und 100TB/2 (sternverkabelt) eine gemeinsame Plattform für asynchrone Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung dar. Außerdem zeichnet sich für digitale Multimediaverbindungen eine Verkabelung auf der Basis Firewire [FIR00] als breiter Standard ab. Von verschiedenen Kabelherstellern (Beispiel Corning [COR00]) wird mit Euro-Normen versucht, Kabel auf wenige Ausführungsarten zu beschränken und damit eine zukunftssichere Verkabelungen zu ermöglichen. Auch Siemens versucht mit anderen zusammen für SOHO (Small Office/Home Office) EU-weit sehr universelle Stecker und Verkabelungen bis 2002 unter der Norm CD15018 Cabeling for SOHO und ISO/IEC11801 für Büros festzuschreiben. Aber ein vom Markt akzeptierter Standard von Kabelarten zeichnet sich noch nicht ab. Die Markt-Dynamik der funkbasierten Systeme erschwert zusätzlich eine Konzentration.

Die Verkabelung mit POF (Plastic Optical Fiber) oder Glasfaser ist im SmartHome noch keine Thema. Erstens sind nur wenige Normen, IEEE 1394 [FIR00], wenige LAN und die ISO/IEC11801, für diese Medien in Büros spezifiziert und zweitens gibt es im Moment noch keine allgemeinen Verfahren wie man die sehr große Band-

breite eines Glasfaserkabels physikalisch geteilt nutzen könnte. So wurde das neue Gigabit-Ethernet-LAN wieder für zwei mal zwei Leitungen spezifiziert, statt den Schritt zur Glas / Kunststofffaser zu wagen.

Die Entwicklung der für ein SmartHome benötigten Bandbreiten lässt sich schwer abschätzen. Es kann von den End-Anwendern noch nicht erwartet werden, überall Glasfaser oder Kunststofffaser und die dazu gehörigen sehr teuren Ein/Auskoppler zu installieren. Wahrscheinlich ist eine Netz mit mittlerer Geschwindigkeit, ca. 10 bis 100 Mbps, für die mittelfristige Nutzung am sinnvollsten. Die vorhandenen Telefonleitungen als LAN zu gebrauchen haben sich Firmen von HomePNA [HPN00] vorgenommen und realisiert. Aber ob diese Geschwindigkeit bei steigendem persönlichen Datenaufkommen von schätzungsweise 20-50% / Jahr ausreicht, ist fraglich!

Das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung in Brüssel (CENELEC) hat mit seiner Norm EN 50065-1 „Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148 kHz“ den Rahmen für die **Powerline-Kommunikation** festgelegt (s. Abb. 3.33). Sie wurde von der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE als DIN-EN 50065-1, Klassifikation VDE 0808 übernommen und sieht vier unterschiedliche Frequenzbänder vor:

- Das A-Band (3 kHz - 95 kHz), das für Energieversorgungsunternehmen reserviert ist,
- das B-Band (95 kHz - 125 kHz), welches von allen Anwendungen ohne Zugriffsprotokoll genutzt werden kann, das C-Band (125 kHz - 140 kHz), das für Hausnetzwerke vorgesehen ist. Ein vorgeschriebenes Zugriffsprotokoll (CSMA/CA = Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ermöglicht die Koexistenz verschiedener, inkompatibler Systeme in diesem Frequenzband; und schließlich
- das D-Band (140 kHz - 148.5 kHz), das Alarm- und Sicherheitssystemen ohne Zugriffsprotokoll vorbehalten ist.

Powerline-Kommunikation hat den Vorteil, dass man keine zusätzlichen Kabel zu verlegen braucht. Aber bei der Erstinstallation müssen in das Stromnetz Phasenkoppler intern und Filter nach außen geschaltet werden. Um 2-Mbps-Verbindungen zu bekommen, braucht man komplizierte und daher relativ teure Modems. In Europa ist aufgrund der CENELEC-Bestimmungen nur ein schmales Band mit 128 KBps zugelassen; aber dieses kann sich durchaus ändern. In den USA werden mit dem System HomePlug [HPL00] bis 14 Mbps (inhouse) getestet. Bei RWE [RWE00], ENBW [ENB00] und anderen EVU laufen Feldversuche, die die Internetanbindung von Wohnsiedlungen für je eine gemeinsame Nutzung eines 2-Mbps Internet-Zugangs realisieren [RWE00]. Da bei den EVU größere Kosten bei der Überbrückung der vielen Umsetzungstransformatoren entstehen würden, stellen sie Verbindung zum Internet vor diesen zum Netz der Fa. Telekom her. Sie haben damit zwar ihr Versorgungsnetz ausgenützt, d. h. die letzten 100 m Verkabelungsaufwand gespart, aber nicht ihre vorhandenen Glasfaserleitungen auf den Hochspannungsleitungen der Fernverbindungen genutzt. Ein generelles Problem ist, dass Stromversorgungsleitungen für ein Datenübertragungsmedium denkbar schlechte Eigenschaften besitzen. Die EMV-Bedingungen sind ähnlich schlecht wie bei Funkübertragungen in unbekannter Umgebung. Außerdem haben sich die EVU nicht mit den Gerätesteuerungsanbietern EIB, LON oder EHS abgestimmt, d. h. im Moment kann man mit Powerline entweder das Haus-LAN oder eine Hausbussystem realisieren.

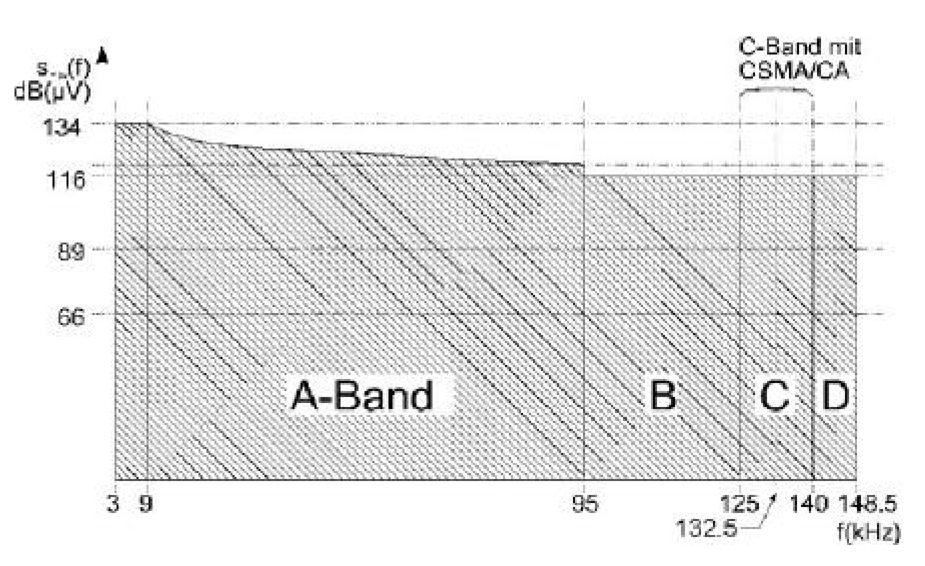


Abb. 3.33: Powerline - CENELEC

Bei den **Wireless-Vernetzungen** wurde für Gerätesteuerung und andere kleinere Anwendungen das 433-Mhz Band und das 868-Mhz Band mit erheblich geringerem Störrisiko freigegeben. Die billigen 433-Mhz-Fernsteuerungen und Wetterstationen besitzen keinen quittierten Nachrichtentransfer, d. h. sie sind nur für Anwendungen mit tolerabler Fehlbedienung akzeptabel.

Nach Schätzungen von Siemens sind im Jahre 2005 50 Prozent aller SmartHome–Geräte mobil [MES00]. Der Standard zum Austausch von Daten statt über Kabel mit Funk wird höchstwahrscheinlich Bluetooth (2.4Ghz) lauten, da Firmen aller Kategorien diesen Standard akzeptiert haben und an Produkten arbeiten. Leider gibt es

einige Länder, in denen die Blutooth-Frequenzen teilweise oder ganz belegt sind. In Frankreich sind zum Beispiel wegen militärischer Nutzung nur 24 der 79 möglichen Bluetooth-Kanäle zugelassen. Außerdem stören sich Bluetooth und Wireless-LAN (IEEE 802.11 [HRF00], IEEE 802.11b, 2.4 GHz), da sie dieselben Frequenzen teilen. Es gibt jedoch für Zugangstechniken zum Internet die IEE 802.11a mit 54 Mbps in höheren Frequenzbereichen. Ein Forum versucht hier die Inkompatibilitäten zu vermeiden [WLI00]. Etwas geringere Bandbreite haben Wireless-LAN auf Basis von DECT (1,9GHz) [DEC00] bzw. daraus abgeleitet DMAP (DECT Multimedia Access Profile). Mit DMAP werden durch Kanalbündelung 2 Mbps und 300 m Reichweite erreicht. Es bietet damit für Haus-LAN die besser geeigneten Bandbreiten.

Das auf der Basis von IEEE 1394 (Firewire [FIR00] bis 400 Mbps) basierende Funknetzwerk HIPERLAN2 (ETSI-BRAN [ETS00b]) gestattet Bandbreiten bis 30 Mbps und benötigt dabei 450 MHz Bandbreite, das sind 19 Kanäle in Europa (CEPT). Obwohl in den USA nur 12 Kanäle erlaubt sind, tut das der drahtlosen Multimedia vernetzung von ca. 30 m im Haus keinen Abbruch. Der Hersteller Sony bietet dafür eine ganze Palette von Ge räten unter der Bezeichnung i.Link an.

Um zu mobilen Geräten eine Verbindung aufzubauen, gibt es schon seit längerem die Infrarotverbindung IrDA [IRD00]. Diese ist für Datenübertragungen bis 16 Mbps geeignet und damit schneller als Bluetooth, funktioniert aber nur Peer-To-Peer auf kurzen Distanzen bis 1m. Die Infrarotfernbedienungen mit ihren simplen Bedienungen, nötiger Sichtverbindung und ohne Befehlsquittung, kennt man von vielen Unterhaltungsgeräten. Diese gibt es zwar auch für die Hausbussysteme oder den PC, aber man kann für die Zukunft des SmartHome nur hoffen, dass sie aufgrund gestiegener Komfort- und Sicherheitsbedürfnisse bald komplett vom Markt verdrängt werden.

3.3.6 Wirtschaftliche Aspekte

3.3.6.1 Systemaufwand {RESOURCES}

Das Ziel im Bereich der Hausgeräteautomatisierung ist die Erschließung eines breiten Endkundenmarktes. Die Anschaffungs- und Einbaukosten sind deshalb besonders wichtig.

Als Beispiel wird ein Kosten-Überblick über eine Gebäudeautomation mit LONWORKS [LON00, ENT99] gegeben:

Typische I/O-Modulvarianten

- 8fach digitaler IN; (z. B. Lichtschalter)
- 4- bis 8fach digitaler OUT; (z. B. Licht, Jalousie)
- 2- bis 4fach analoger IN; (z. B. Temperatur-Messung)
- 2- bis 4fach analoger OUT (z. B. Ansteuerung Heizungsventil)

Ungefähre Gestehungskosten:

- DM 30,- pro digitalen IN;
- DM 30,- pro digitalen OUT;
- DM 40,- pro analogen IN;
- DM 40,- pro analogen OUT

Wunsch-Verkaufspreis

- DM 60,- je digitalen IN;
- DM 60,- je digitalen OUT;
- DM 100,- je analogen IN;
- DM 110,- je analogen OUT

Verteilung der Funktionen 70 % digital, 30 % analog in üblichen Eigenheimen.

Bei den Gerätesteuerungen bekommt man die Information, dass bei EIB für jeden digitalen BIT-Aktor (Steckdose Ein/Aus) 30 DM benötigt werden. Wobei in diesem Preis noch nicht die Kosten für Installation und die laufenden Wartungskosten enthalten sind. Aber auch die Ersparnis an Kabelverlegungen bei einer Erstinstallation bleibt hier unberücksichtigt.

Bei EHSA mit dem A-Mode [EHS00a] für Plug&Play und der Spezifikation EHSA 1.3a [EHS00b] sollten sich erheblich billigere Powerline-Produkte herstellen lassen, so dass vielleicht damit der Durchbruch am Massenmarkt gelingt. Die einfachen, zueinender inkompatiblen Funksteckdosensysteme verschiedener Hersteller sind zwar billiger, aber für sie gibt es keine langfristigen Perspektiven.

Wie die Autohersteller auch, müssen SmartHome Besitzer darauf achten dass, die vielen Embedded-Chips als Summe nicht merklich viel Strom verbrauchen; vor allem nicht in „inaktiven“ Wartezuständen. Die „Residential Gateways“ sind zum Beispiel immer aktiv und brauchen jeweils ca. 5 bis 20 Watt. Übernimmt der PC verschiedene SmartHome-Aufgaben, kann man mit 50 bis 80 Watt rechnen. Alle Geräte zusammen genommen und auf das Jahr hoch gerechnet, kann das durchaus zu einem nennenswerten Stromverbrauch führen. Genauere Zahlen liegen jedoch nicht vor.

In den Wartungskosten (s. Abb. 3.22) sehen viele Unternehmen als Service – Provider durch Fernwartungen einen lukrativen Markt im SmartHome. Im Gebäudemanagement sind Wartungsverträge sehr begehrt, aber eine Massenverbreitung von SmartHome-Implementierungen schließt eine kostenintensive Wartung fast aus. Mit anderen Worten, sollte es sich abzeichnen, dass das SmartHome wegen der technischen Vielfalt intensiv zu warten ist, wird das die Entwicklung sehr hemmen.

3.3.6.2 Technischer Support {SUPPORT}

Wenn man den Trend beim Support elektronischer Geräte der letzten Jahre weiterführt, so ist eine starke Tendenz zum Internet erkennbar. Allgemeine Hinweise und Neuerungen über irgend ein Produkt findet man heutzutage auf den Internet-Seiten des Herstellers. Hat man ein Support-Problem, dann bekommt man selten jemanden der Hotline ans Telefon, bekommt aber durch Emails die erwünschten Antworten. In einem SmartHome schaffen die Zugangstechnologien die Möglichkeit diese Systeme komplett fern zu warten und erlauben daher einen kostengünstigen und guten Support. Die Gateways auf OSGi-Standard, aber auch die von emWare [EMI00], lassen Software Updates bis zu einzelnen Embedded-Systemen am Netz zu. Dies geht zum Beispiel bei EIB u.a. auch wegen der niedrigen Übertragungsraten nicht. Hier gibt es nur Möglichkeiten der Ferndiagnose des Bussystems. Immerhin garantiert Siemens u.a. durch breit angelegte Ausbildung von Elektromeister und ein einheitliches Konfigurationstool [ETS00a] einen einigermaßen flächendeckenden Support für EIB und Konnex in Deutschland.

3.3.6.3 Systemanpassungen {VARIABILITY}

Wie kann ein Teilsystem des SmartHome erweitert, geändert oder ersetzt werden? Die Produktzyklen der Gerätesteuerungen der festinstallierten Geräte betragen ca. 10 bis 30 Jahre, die des Entertainment-Bereichs liegen bei ca. 4 bis 10 Jahre und die des Kommunikations-, Computer-, Zugangstechnologiebereichs liegen darunter. Das SmartHome ist also kein statisches System. Eigentlich finden immer wieder Erweiterungen und systembedingte Änderungen statt. Bei den langen Produktzyklen der Bussysteme sind unbedingt Industriestandards nötig und vorhanden [KNX00a, ETH00, OSG00, FIR00], um die langfristige Anwendung zu garantieren. Zusätzlich kommen noch Anpassungen an die Veränderungen der Bewohner (Kinder, Alter, Krankheit) hinzu. Es wird ersichtlich, dass nicht nur der Umgang mit einem SmartHome denkbar einfach sein sollte, sondern auch die kleinen Anpassungen und Erweiterungen von den Bewohnern selbst vorgenommen werden müssen. Einen einheitlichen, vom Benutzer anpassbaren Zugang zu einem SmartHome gibt es derzeit noch nicht, allenfalls Teile davon.

3.3.7 Tabellarischer Vergleich

Die nachfolgenden Tabellen vergleichen (Teil-)Systeme im Bezug auf die Thematik der Rubriken in den geschweiften Klammern.

Tabelle 3.5 zeigt einen Vergleich der Gerätebussysteme: LONWORKS [LON00] der Fa. Echelon, die international eine weite Verbreitung besitzt, EIB [EIB00], der maßgeblich von Siemens bestimmt wird und einen Standard in Deutschland und Europa darstellt, und EHS, eine aus dem ESPRIT Forschungsprogramm der EU hervorgegangene Lösung. Zu beachten ist, dass EIB und EHS zum neuen Konnex-Standard gehören, d. h. es gibt einheitliche Testprogramme, Protokoll und Datenaustauschmöglichkeiten, aber sie können mit Powerline-Datenübertragung nicht am selben Versorgungsstrang betrieben werden.

Tabelle 3.6 zeigt einen Vergleich der SmartHome-Protokolle: UPnP [UPN00], dominiert von Microsoft und Intel, OSGi-HAVi [OSG00], darin verbirgt sich die Fa. SUN mit ihrer Programmiersprache Java und viele Hersteller von Unterhaltungsgeräten, und BACnet [BAC00], das sich als Protokoll der Management-Ebene im professionellen Gebäudemanagement-Markt erstaunlich schnell weltweit verbreitet und zu vielen Installationen in großen Gebäuden und Schnittstellen zu allen Installationsbussystemen geführt hat.

	LONWorks	EIB	EHS
HVAC	(siehe CONTROL)	Geräte von vielen Herstellern	Wenige Hersteller
CONTROL	Geräte für Gebäude von ca. 3500 Herstellern	Ca. 4500 Produktgruppen	Geräte von einigen Herstellern
SECURITY	Authentifizierte Nachrichten	Verschiedene Geräte, keine Verschlüsselung	Keine Verschlüsselung
TELECOM	-	-	-
ENTERTAINMENT	-	-	-
WORKPLACE	-	-	-
HOMECARE	Wird unterstützt	Wird unterstützt	Wird unterstützt
USER	Nutzer von professionell gemanagten Gebäuden	Nutzer von professionell gemanagten Gebäuden	Bewohner von Ein-Familienhäusern und gewerblichen Gebäuden
INTERACTION	Schalter, Taster, Fernbedienungen, etc.	Schalter, Taster, Fernbedienungen, Home Set etc.	Schalter, Taster, Fernbedienungen
USERADAPTION	Konfigurationsänderungen sind vom Fachmann vorzunehmen	Konfigurationsänderungen sind vom Fachmann vorzunehmen.	Konfigurationsänderungen sind vom Fachmann vorzunehmen
ACCEPTANCE	Breitgefächert, da gewohnte, einfache und komplexe Geräte existieren	Breitgefächert, da gewohnte, einfache bis komplexe Geräte existieren	Eingeschränkt, da nur wenige Bedienelemente existieren
STRUCTURE	Netz-Bus, Stern-,Ring-topologien;	Zweige, Buskoppler	Bus
COMPONENTS	Aktoren und Sensoren von Nodes als bus-globale Variablen; Komponenten struktur möglich	8Bit Device-, je 4Bit Zone- & Line- Adresse, keine Komponentenstruktur	Plug&Play-Geräte mit Komponenten-Struktur
ORGANISATION	Nodes-> Subnet -> Domains and Groups, NeuronID=48Bit Adresse	Lines, Zones and Groups: 8Bit Device-, je 4Bit Zone- & Line- Adresse	Groups, functional Blocks
DATATYPES	Alle	Alle	Alle
ACTIVITY	Szenariensteuerungen	Szenariensteuerungen	Szenariensteuerung
COMMUNICATION	Unacknowlegded and repeated, acknowledged and retried, request, broadcast, authenticated	Multicast, broadcast, connected	Multicast, broadcast, connected
COLLABORATION	HAVi, UPnP, TCP/IP, BACnet, OPC, TCP/IP	Internet, BACnet, OPC, TCP/IP	LON
NETWORKMEDIA	5 Kbps, 87 Kbps, 1,25 Mbps; Twisted Pair, Powerline, Fiber, RF, Koax	2,4 Kbps Twisted Pair(Instabus), Powerline,	Powerline, RF
RESOURCES	Teuer, Industriebedarf	Teuer	Billig
VARIABILITY	Durch Fachmann erweiterbar, Plug&Play	Durch Fachmann erweiterbar	Plug&Play
SUPPORT	Nicht flächendeckend, aber international	In Deutschland flächendeckend, in Europa gestreut	Nur wenige Firmen in Europa

Tab. 3.5: Vergleich von Gerätebussystemen

	UPnP	OSGi - HAVi	BACnet
HVAC	Voller Zugriff	Voller Zugriff	Voller Zugriff
CONTROL	Voller Zugriff	Voller Zugriff	Voller Zugriff
SECURITY	TCP/IP-Security	No Protection	Entsprechend der Medien
TELECOM	Nein	Audio- und Video-Streaming möglich	Audio- und Video-Streaming möglich
ENTERTAINMENT	Gute Unterstützung	Gute Unterstützung	-
WORKPLACE	Gute Unterstützung	Gute Unterstützung	Public Workspace
HOMECARE	Gute Unterstützung	Gute Unterstützung	-
USER	Alle Bewohner	Alle Bewohner	Gebäudemanagement
INTERACTION	Highlevel-HMI, Webbrowser	Highlevel-HMI, Webbrowser	Highlevel-HMI
USERADAPTION	Nein	Nein	Nein
ACCEPTANCE	Hoch, z. B. ICON-IDs möglich	Hoch, z. B. ICON-IDs möglich	Optimal für Gebäude- (Fern)-wartung
STRUCTURE	Hierarchisch, XML-Strukturen	Objektorientiert (Java)	Hierarchisch, Objektorientiert
COMPONENTS	Hot-Plug&Play von komponentenbasierten Geräten	Hot-Plug&Play von komponentenbasierten Geräten	Durch XML weitreichende Unterstützung von komponentenbasierten Geräten
ORGANISATION	Rootdevices, Subdevices and Services	Java-Basis: Devices and Controllers; 64Bit Identifier	5 Basisservices, Router, Gateways, Bridges; mehrere Adressierungsarten, max. 4194395 Devices
DATATYPES	Ca. 25 verschiedene Primärtypen	Subset of IDL data types, Stream Types	Alle wichtigen der Gebäudeautomation
ACTIVITY	States, Event-Messaging	States, Event-Messaging	TriggerEvents
COMMUNICATION	TCP/IP o. ä.	Messagebased and Stream (1394)based	Ethernet, Arcnet, MS/TP, LonTalk, Dialup-RS232
COLLABORATION	X10, Home Plug, HTTP, FTP, ..	Firewire(1394), JavaAPI, HTTP, FTP, X10, HomePlug,..	Konnex, EIB, IEIEJ/p, Modbus, ActiveX, JavaAPI, ..
NETWORKMEDIA	IP-basierter BUS	Bluetooh, Firewire, TCP/IP	Medien von {COMMUNICATION}
RESOURCES	Billige Endgeräte am Ethernet möglich	Für Embedded-Systems mittel-großer Aufwand	Industriebedarf
VARIABILITY	Anwenderspezifische Erweiterungen	Anwenderspezifische Erweiterungen	Integration weiterer Bussysteme möglich
SUPPORT	Fa. MICROSOFT, international	Fa. SUN, international	International

Tab. 3.6: Vergleich SmartHome-Protokolle

3.3.8 Zusammenfassung

Prinzipiell scheint „Alles Denkbare“ im Bereich des Möglichen zu liegen. Für die Gestaltung und Optimierung des Wohnens in einem SmartHome durch Automatisierungsmaßnahmen kann man mit verschiedenen Bus- und Kommunikationssystemen alle vorstellbaren Endgeräte steuern, (Umwelt-)Werte abfragen und sammeln, etc .

Betrachtet man die Systeme auf dem Markt und ihre Zielrichtungen genauer, so muss man erkennen, dass es sowohl viele Detail-Lösungen für viele Einzel-Probleme, aber auch umfassende Lösungen für ganze Anwendungsbereiche gibt. Noch erfüllen diese Systeme nicht die Anforderungen in Bezug auf Installationsaufwand, Skalierbarkeit, Kosten, Bedienungsaufwand und Wartbarkeit. Die Techniken des SmartHomes müssen für die Bewohner mehr Probleme lösen als sie neue schaffen!

Es erscheint unwahrscheinlich, dass sich eine einzelne Firma, ein einzelnes Kommunikationssystem oder auch nur ein Protokoll-Standard alle Probleme der vielseitigen, sich verändernden Wohnumgebungen lösen kann. Vielmehr werden sich für größere Anwendungsgebiete CONTROL, ENTERTAINMENT oder WORKPLACE standardisierte Lösungen einstellen die untereinander gekoppelt werden können.

Durch die Standards OSGi-HAVi [HAV98], UPnP[UPN00], MHP [MHP99], JINI [JIN00], Bluetooth [BLU99] und HIPERLAN2 [HIP99] ist die Interoperabilität über mehrere Systeme und Anwendungsbereiche durch nahezu alle Firmen dieser Märkte garantiert. Deshalb stehen viele Produkte mit diesen Schnittstellen auf der Schwelle zum Massenmarkt oder kurz bevor.

Folgenschwer ist die unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeit und daher auch das Preis/Leistungsverhältnis verschiedener konkurrierender Techniken. So ist es durchaus wahrscheinlich, dass die dynamische Entwicklung von Techniken zur mobilen Funkdatenübertragungen [BLU99, DEC00] die Installationsbusse aus dem Massenmarkt verdrängt. Auch nicht abzusehen ist, ob der „Alleskönner“ PC im ENTERTAINMENT–Bereich eine zentrale Rolle im SmartHome übernehmen wird oder ob die Set-Top-Boxen diesen Part übernehmen.

Im Anwendungsbereich CONTROL, den Hausgerätesteuerungen, gibt es große regionale Unterschiede. So gibt es, anders als in den USA durch X10 [X1080], bislang in Europa keinen billigen Plug&Play-Einstieg für Hausgerätevernetzungen und damit in ein SmartHome. Die professionellen Gebäudemanager verwenden in den USA LONWORKS [LON00] und in Deutschland ist EIB am weitesten verbreitet. Durch den europäischen Konnex-Standard, der EIB, Batibus und EHS verbindet, wird versucht, eine Zukunftsgarantie für die drei Teile zu erreichen. Das einzige für SmartHome-Gerätevernetzung sinnvolle System EHS (Plug&Play, LowCost) stammt aus langjähriger Forschung und es existieren bislang nur wenige Komponenten. Hier droht durch den fehlenden Bereich CONTROL in Europa, dass in den USA weitergehende SmartHome-Installationen viel früher den Massenmarkt erreichen werden.

Der Bereich ENTERTAINMENT ist global und bewegt sich auf Standards zu. Zusammen mit den Techniken aus dem Bereich WORKPLACE kommen schnelle Datennetze ins Haus. Die vielen dynamischen und konkurrierenden Technologien und Firmen der Zugangstechnologien lassen auf effiziente Lösungen bei Internetzugängen hoffen.

Fazit: Das SmartHome mit einer gewissen Ausprägung kommt auf jeden Fall und bietet einen großen Spielraum für Softwarelösungen und Embedded-Systeme aller Art. Da sich jedoch viele Synergien erst aus dem Zusammenspiel ganzer Anwendungsbereiche ergeben, wird ein homogen anmutendes SmartHome für Jedermann noch einige Zeit auf sich warten lassen. Es fragt sich auch, wie weit und ob die Bewohner selbst dieses softwaretechnisch und telematisch so anspruchsvolle System nutzen können. Braucht man dafür nicht höhere Anwenderschichten als nur grafische Oberflächen, zum Beispiel Agenten und Assistenten?

4 Vorhabensbeschreibung

4.1 Ganzheitliche Betrachtungsweise

Wenn die Architektenkammer Baden-Württemberg bedauert, dass nur noch etwa 10% der privaten Bauvorhaben von einem Architekten begleitet werden, dann sind dafür drei Gründe mitverantwortlich:

1. Ein Bauinteressent möchte gerne das Produkt vor der Kaufentscheidung sehen und erleben.
2. Die Kostenunsicherheit bei individuellen Entwürfen schreckt die Bauherren.
3. Das Architektenhonorar beträgt ca. 10 % der Bausumme.

Ein Haus mit der Vielzahl möglicher Baustoffe, Ausstattungsmerkmale und Designvarianten ist so komplex, dass angesichts der hohen Baukosten die Unterstützung eines Bauvorhabens durch einen ausgewiesenen Fachmann eine Selbstverständlichkeit sein sollte. Das Honorar ist gut angelegt, wenn ein Haus entsteht, das gezielt auf die persönliche Istsituation des Bauherrn eingeht, mögliche Veränderungen der Lebensbedingungen berücksichtigt, die Bedingungen des Bauplatzes würdigt und ein individuelles Design mit eigenem ‚Gesicht' zeigt. In diesem Punkt müssen die Architektenkammern Aufklärungsarbeit leisten. Zugleich müssen die Architekten und die Baubranche ihren Arbeitsstil umkrempeln, um die Punkte 1 und 2 und ihr Image zu verbessern. An dieser Stelle setzt der FZK-Haus-Ansatz an. Das FZK-Haus wird das individuelle Architektenhaus ohne maßliche Beschränkungen oder Einschränkungen in der Materialauswahl erlebbar und kalkulierbar machen. Das FZK-Haus wird qualitativ hochwertig und kostengünstig gebaut.

Im Architekturbüro der (nicht mehr fernen) Zukunft wird der Architekt gemeinsam mit dem Bauherrn sehr ausgiebig unterschiedliche Hausvarianten vergleichen, die er gemäß eines detaillierten Pflichtenheftes entworfen hat. Das geschieht ‚lebensecht' in einer großformatigen virtuellen Welt, die ein Videobeamer an die Wand des Architektenbüros projiziert. Sind die Entscheidungen für den Grundriss gefallen, wird das Haus digital bemustert, d. h. ‚ausgebaut'. Architekt und/oder Bauherr wählen aus Musterkatalogen, die von diversen Anbietern im Internet verfügbar gemacht werden, Fenster, Türen, Fliesen, Fußbodenbeläge, Sanitärobjekte etc. aus und stellen alles im virtuellen Hausmodell dar. Alle Details bis hin zu den Steckdosen werden festgelegt. Das Resultat ist ein sehr exaktes Modell des Hauses. Begibt sich der Bauherr aus der Küche in sein virtuelles Wohnzimmer, das nahezu maßstäblich und farbecht projiziert wird, kann er erstmals das Knistern des Kaminfeuers hören und dabei die ‚virtuellen Rechnungen' der Baufirmen studieren, die auf Basis der genauen Planung erstellt wurden. – Selbstverständlich wird noch auf lange Sicht eine auch noch so gut dargestellte Textur auf dem Bildschirm das körperliche Erlebnis eines hochflauschigen Teppichs nicht ersetzen. Besuche in Ausstellungen erfolgen nach der digitalen Bemusterung. Alle Änderungswünsche werden berücksichtigt.

Diese Utopie ist realisierbar. In der Automobilindustrie und maßgeblich auch im Forschungszentrum Karlsruhe wurden nach Einführung der CAD-Systeme Schnittstellen zum Datenaustausch und darauf aufbauend Produktdatenmodelle zur vollständigen Beschreibung von Waren entwickelt. Ansätze existieren auch in der Baubranche. Allerdings ist noch sehr viel Arbeit zu leisten bis z. B. die Normungsbemühungen des VDI-Fachausschusses TGA (Technische Gebäude Ausstattung), das Standardleistungsbuch des GAEB und die Geometriedaten-Schnittstellen IFC oder STEP in einem einheitlichen Modell münden. Das FZK wird auf diesem Gebiet an frühere Aktivitäten anknüpfen und Pionierarbeit leisten. Beispielhaft werden verschiedene Normen zu einem umfassenden Produktmodell vereint. Unterschiedliche Post- und Preprozessoren werden aus und in die Produktdaten-Datenbank schreiben und die Schnittstelle zu gängiger CAD-, VR-, AVA- und anderer Bausoftware bilden.

Durchgängige, konsistente und vollständige Produktdaten bilden eine ausgezeichnete Basis für die Fertigung des Produkts. In der strukturierten und witterungsunabhängigen Umgebung einer Fabrik können Maschinen Teile eines Hauses vorkonfektionieren. Da das von Architekten individuell geplante FZK-Haus immer ein Einzelstück ist, werden an die Fabrik andere und teilweise härtere Bedingungen gestellt, als z. B. bei der Massenproduktion von PKWs. Manuelle Rüstzeiten und nennenswerter Aufwand in der Arbeitsvorbereitung zur Erstellung der CNC-Programme zur Steuerung der Maschinen sind unzulässig, weil dann ein wirtschaftlicher Betrieb nicht erreichbar ist. Maurer dürfen nicht Eins zu Eins durch Techniker ersetzt werden. Die konsequente Nutzung der Produktdaten und ein rechnerinternes Modell der Fabrik ermöglicht die automatische Erstellung der Steuerdaten und –programme. Um Individualität zu sichern ohne die Komplexität der Fabrik ins Unendliche zu steigern, werden zwei Wege beschritten:

1. Mit Blick auf das Pareto-Prinzip, wonach 20% der Aufgaben 80% der Kosten verursachen, werden seltene Wünsche, z. B. ein gemauerter Gewölbekeller, weiterhin in traditioneller Handarbeit gefertigt. Die Datenverarbeitung erkennt die exotischen Aufträge und erstellt entsprechende Materiallisten, Zeichnungen und Arbeitspapiere.

2. Das Haus wird in ‚Baugruppen' wie Wände, Decken, Dach etc. eingeteilt. Dazwischen werden bautechnische Schnittstellen definiert, die z. B. beschreiben, wie eine Abwasserleitung zwischen Wand und Decke verbunden wird. Die ‚Baugruppen' können in kleinen, überschaubaren Fabrikeinheiten gefertigt werden. Außerdem kann so z. B. die Wandproduktion beginnen bevor die ‚Dachfabrik' gebaut ist. Durch die Teilung in verschiedene Fabriken wird Uniformität vermieden. Die Wände des Anbieters A erhalten einmal ein Dach der Fabrik B oder des örtlichen Zimmermannbetriebs C.

Die industriell und handwerklich vorgefertigten ‚Baugruppen' werden auf der Baustelle zum fertigen Haus montiert. Auf Grundlage der Produktdaten und des Workflow Managements wird ein ‚Film' erstellt, der die Arbeitsschritte visuell verdeutlicht und alle benötigten Informationen (z. B. Maßangaben) bereithält. Der Baustellenrechner hält Verbindung zu den Herstellbetrieben um die Logistik zu optimieren. Just-in-Time-Lieferungen ersparen Wartezeiten aber auch die Zwischenlagerung auf engen und schmutzigen Baustellen. Wenn die Logistik gut funktioniert, können sämtliche Bau- und Ausbaumaterialien per Kran in die Geschosse transportiert werden, wo sie verbaut werden sollen, noch bevor dies eine Geschossdecke oder ein Dach verhindern. Absolute Voraussetzung dafür ist wiederum die rechtzeitige Entscheidung des Bauherrn für die Fliesen und für ein Parkett etc.

Ein zukunftssicheres Haus hat eine technische Ausstattung, die sich vom heutigen Standard unterscheidet wie ein PKW Baujahr 2000 von einem Oldtimer. Komfortausstattung wie elektrische Fensterheber, Spiegelverstellung, Klimaanlage etc. sind ebenso verbreitet wie z. B. ABS und Airbag, die für mehr Sicherheit sorgen und ein optimiertes Motormanagement, das den Treibstoffverbrauch drosselt. Das Produktdatenmodell wird den Elektriker bei der Inbetriebnahme des Bussystems für die Beleuchtung unterstützen. Die Alarmanlage wird anhand eines Bildes exakt beschreiben, welches der zahlreichen Fenster des Wintergartens offen steht. Ein detailliertes Produktdatenmodell präzisiert Aussagen zum voraussichtlichen Energiebedarf des Hauses. Heizungs- und Lüftungsanlagen können exakt ausgelegt werden. In Zukunft lässt die Kenntnis der Dämm- und Speichereigenschaften eines Bauwerks weitere Heizungsoptimierungen zu.

Facility Management wird auch in kleineren Gebäuden eine zunehmend wichtigere Rolle spielen. Dabei wird es nicht so sehr darum gehen, welcher Mitarbeiter welches Büro und welche Telefonnummer belegt, sondern darum z. B. Verschmutzungen in einem Luftfilter der Lüftungsanlage zu entdecken, die sich im erhöhten Energieverbrauch der Ventilatoren abzeichnet, oder z. B. auch darum, eine ‚Weihnachtsbeleuchtungsstimmung' für den Hausbus zu programmieren. Facility Management wird darüber hinaus indirekt größere Anpassungen wie Umbauten unterstützen, weil es die Produktdaten benutzt und damit am Leben erhält. So ist sichergestellt, dass auch zehn Jahre nach Bau des Hauses auf aktuelle Pläne zugegriffen werden kann.

Genaue Produktdaten erleichtern auch noch 100 Jahre nach Errichtung eines Gebäudes die gezielte Demontage, die Materialtrennung und die Verwertung bzw. Deponierung der Baumaterialien. Wie jedoch die Vergangenheit lehrt, man denke an Asbest, Lindan in Farben oder Formaldehyd in Holzfaserwerkstoffen, werden Fragen zu eingesetzten Baustoffen manchmal schon nach wenigen Nutzungsjahren interessant. Die Produktdaten des Hauses können Auskunft geben.

4.2 Informationstechnologien im Bauwesen

4.2.1 Produktdatenmodellierung

Die Produktdatenmodellierung ist die Basis für eine durchgängige Datenverarbeitung in allen Lebensphasen eines Gebäudes. Mit dem **IFC** (Industry Foundation Classes) Modell hat die IAI (International Alliance for Interoperability) ein integrales Produktdatenmodell für Gebäude entworfen, das eine hohe Akzeptanz bei Systementwicklern und Anwendern gefunden hat und mit hoher Dynamik weiterentwickelt wird. Die Systeme Allplan, ArchiCAD und Architectural Desktop haben zertifizierte IFC Prozessoren in den Grundversionen integriert.

Um auf das IFC Modell zugreifen zu können, muss ein **Preprozessor** entwickelt werden. Der Preprozessor liest die IFC Datei ein (Scanner), prüft den Inhalt auf syntaktische und semantische Korrektheit (Parser) und überführt die Daten in ein internes Format. Im einfachsten Fall wird dieses interne Format direkt auf das Format des Zielsystems abgebildet. Ist dies aus Kompatibilitätsgründen nicht möglich oder sollen die Daten bearbeitet werden, ist eine Konvertierung notwendig. Gerade im Bereich der Geometrie wird mit verschiedenen Modellen gearbeitet. CAAD-Systeme bevorzugen in der Regel eine CSG (Construction Solid Geometrie) oder eine B-REP (Boundary Representation) Darstellung, während Visualisierungs- und Virtual Reality Systeme nur Polygonmodelle verarbeiten können (Abb. 4.1).

Um ein IFC Modell flexibel bearbeiten zu können, ist deshalb eine **Konvertierung** der Geometrie notwendig. Dabei ist zu beachten, dass ein CSG Modell in ein B-REP- oder ein Polygonmodell konvertiert werden kann, aber nicht umgekehrt. Die Attribute der Objekte dürfen dabei natürlich nicht beeinflusst werden.

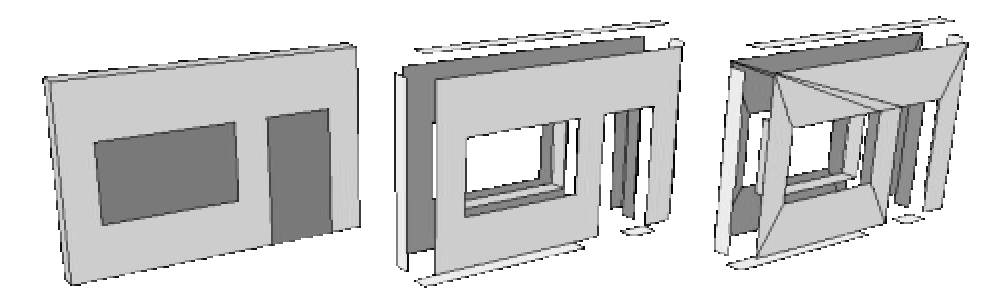


Abb. 4.1: Verschiedene Repräsentationen eines Wandelements (CSG, B-REP, Polygone)

Bei der Entwicklung des Preprozessors und der Datenkonvertierung werden die neuesten Werkzeuge eingesetzt. Da IFC auf der Beschreibungssprache EXPRESS basiert, können kommerzielle Werkzeuge zur Entwicklung der Prozessoren verwendet werden. Das **ECCO Toolkit** der **Karlsruher Firma PDTec** bietet nicht nur die Unterstützung bei der Entwicklung von Pre- und Postprozessor, sondern ist auch in der Lage EXPRESS Schemata aufeinander abzubilden. Zur Geometriekonvertierung stehen kommerzielle und „Open Source" Funktionsbibliotheken zur Verfügung. Die bekannteste und teuerste ist der ACIS Kern, der in vielen CAD-Sytemen (AutoCAD) eingesetzt wird. **Open CASCADE** ist ein „Open Source" Modellierungskern der Firma Matra Datavision, der ähnliche Funktionalitäten enthält.

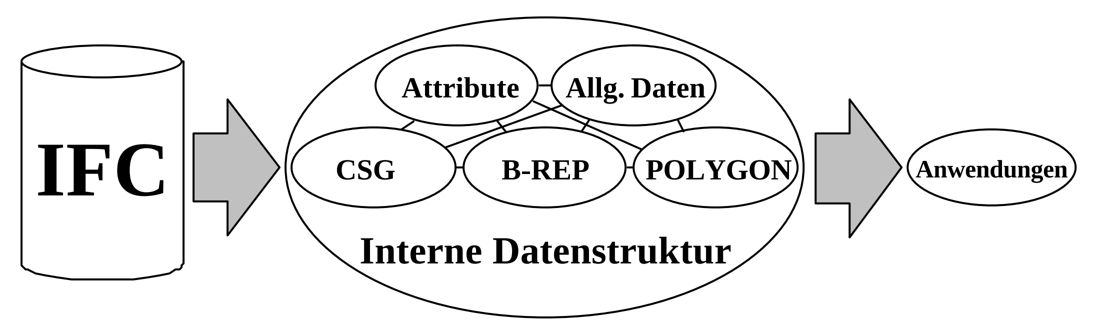


Abb. 4.2: Erstes Entwicklungsziel: IFC-Preprozessor und Geometriekonvertierung

Abbildung 4.2 zeigt das **erste Entwicklungsziel** in der Produktdatenmodellierung. Der **Preprozessor** soll für die IFC-Versionen 1.51 und 2.x ausgelegt werden. Die **Geometriekonvertierung** soll ohne Verlust von Attributen ein CSG Modell in ein B-REP Modell wandeln und dann ein Polygon Modell erzeugen. Alle drei Repräsentation werden in dem internen Datenmodell gehalten. Zugriffsfunktionen auf alle Objekte unabhängig von der Geometriepräsentation ermöglichen das Bearbeiten der Produktdaten und die Weitergabe an andere Systeme.

In einem **zweiten Schritt** müssen die Produktdaten, die aus verschiedenen Systemen und Quellen stammen können, zusammengeführt, verknüpft und verwaltet werden. Kommerziell verfügbare **Produktdatenmanagementsysteme** müssen analysiert und auf ihre Tauglichkeit für das Bauwesen überprüft werden. Dabei spielen sowohl die technischen Aspekte als auch die bauindustriespezifischen Aspekte eine große Rolle. Ziel ist es ein System zu finden, das die technischen Grundvoraussetzungen erfüllt und sich flexibel an die speziellen Anforderungen anpassen und sich in die bauindustriespezifischen Softwareumgebungen (Preis, Wartung usw.) integrieren lässt. Abbildung 4.3 zeigt prinzipiell die angestrebte Umgebung. Daten aus verschiedenen Quellen werden durch das Managementsystem in die Produktdatenbank (internes Datenformat) eingelesen. Das Managementsystem gleicht dabei manuell, teilautomatisch oder vollautomatisch bereits vorhandene Projektdaten ab und führt eine Versionskontrolle.

Das Engagement des **FZK** im Bereich Produktdatenmodellierung und **STEP** reicht bis in deren Anfänge zurück. Das FZK ist seit Jahren aktives Mitglied bei **ProStep e.V.**. Als Partner bei den EU-Projekten **CAD*I**, **NIRO** und **InterRob** wurden vom FZK Pre- und Postprozessoren für verschiedene CAD-Systeme (**CATIA**, **PROREN**, **APPLICON BRAVO**, **ROBCAD** usw.) entwickelt. An der Definition der **„STEP Integrated-Application Resource 105 Kinematics"** war das FZK maßgeblich beteiligt. Diese Erfahrungen dienen als Grundlagen für die **Prozessorentwicklung**, für das **Produktdatenmanagement** und für die Beteiligung des FZK an der **Weiterentwicklung** des **IFC-Modells**.

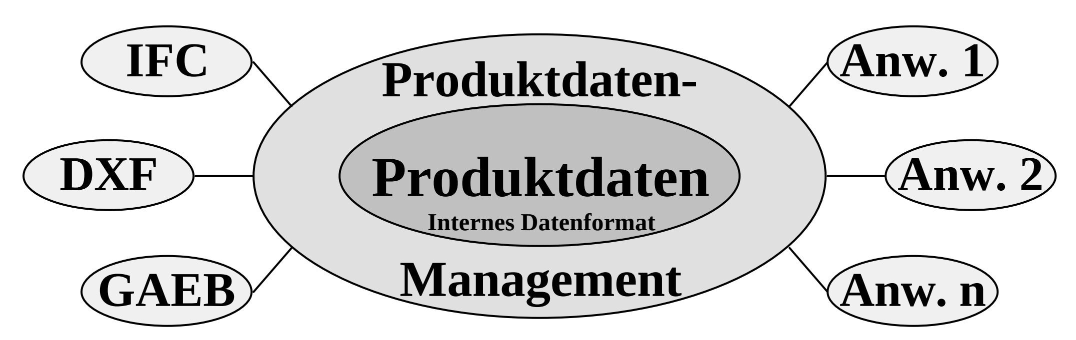


Abb. 4.3: Zweites Ziel: Produktdatenmanagement

4.2.2 Virtual Reality im Bauwesen

Virtual Reality wird zur Zeit hauptsächlich zur **Visualisierung** von **geometrischen Daten** genutzt. Im Vordergrund steht das möglichst realitätsnahe Eintauchen **(Immersion)** in die virtuelle Szene. Will der Betrachter mit der Szene interagieren, müssen die Daten aufwändig nachbearbeitet werden. **Produktdaten**, die einen Teil der nötigen Informationen beinhalten, können in **keinem kommerziellen System** eingelesen werden.

Im **ersten Entwicklungsschritt** sollen die Produktdaten eingelesen und die eindeutig abbildbaren Elemente übernommen werden. Dabei werden nicht nur geometrische Daten umgesetzt, sondern auch die Attribute so weit wie möglich interpretiert. Eine Tür zum Beispiel enthält neben der Geometrie und dem Material auch Funktionen (Öffnen - Schließen) und Constraints (Anschlagseite, Öffnungswinkel, Öffnungsrichtung). Im Virtual Reality System kann mit diesen Informationen ein sogenannter **DCS (Dynamic Coordinate System) Knoten** an der richtigen Position und mit den richtigen Parametern erzeugt werden. Somit wird das Türblatt beweglich. Um die Tür bei Annäherung des Betrachters zu öffnen, können automatisch **Näherungssensoren (Proximity Sensors)** erzeugt werden.

Ein weiteres Beispiel ist die **Struktur des Gebäudes**. Das IFC-Modell gliedert das Gebäude in Sektionen, Geschosse und Räume. Diese Struktur ist auch im Virtual Reality System sinnvoll und realisierbar. Zur Erzeugung der hierarchischen Baumstruktur können **Gruppen oder Layer Knoten** benutzt werden. Strukturelemente, wie zum Beispiel Geschosse und Räume, werden durch die Vergabe von Namen (in der Regel die IFC Schlüsselwörter) identifizierbar.

Das **erste Entwicklungsziel** ist der **Import** von **Produktdaten** in das Virtual Reality System **REALAX**. Die Informationsverluste beim Import werden durch die Abbildung der Gebäudestruktur und die Interpretation von Attributen so gering wie möglich gehalten. Der Importfilter wird softwaretechnisch als Plug-in von REALAX realisiert.

In einem **weiteren Schritt** werden die **nicht direkt umsetzbaren Informationen**, wie zum Beispiel Informationen über Architekt und Bauherr, Kosten, Statik, in das Virtual Reality Modell integriert. Eine Möglichkeit solche Informationen in REALAX darzustellen sind **Notizen** direkt im 3D-Modell. Eine weitere Möglichkeit ist der Zugriff auf die Informationen mit einem **Internet Browser**. Der Vorteil dabei ist, dass die Informationen über mehrere Monitore verteilt und auch graphische Informationen wie Grundrisse dargestellt werden können. Das Virtual Reality Modell wird dabei um Knoten erweitert, die auf lokale oder globale Internet Seiten verweisen. Die Informationsanforderung kann durch den Betrachter **manuell** oder durch Sensoren (Näherungs- oder Kollisionssensoren) **automatisch** erfolgen.

Das **Ziel** in diesem Entwicklungsschritt ist der **multimediale Zugriff** auf alle **relevanten Produktdaten** aus der Planungs- und Designphase. Der Anwender (Bauherr, Architekt, Investor) soll dabei Eindrücke in verschiedenen **Abstraktionsebenen** (Räume, Proportionen, Materialien, Kosten usw.) erhalten, die ihn in der **Entscheidungsfindung** unterstützen.

Erst in einem **weiteren Entwicklungsschritt** werden **Änderungen** am virtuellen Gebäude möglich, die die **Struktur des Gebäudes nicht verändern**. Die Manipulation der Raumaufteilung, das Verschieben von Wänden und die Veränderungen von Treppenaufgängen werden in dieser Phase nicht möglich sein. Die Änderungen konzentrieren sich auf die **Farb-, Material- und Komponentenauswahl**. Die Beispiele reichen von der Farb- und Strukturauswahl des Außenputzes bis zur Auswahl der Möblierung. Die benötigten Bibliotheken für Materialien (Texturen) und Möbel (3D-Objekte) werden in der ersten Version lokal im originären Format gespeichert. Die direkte Anbindung an die Hersteller von Baustoffen und Möbeln über das **Internet** wird folgen, sobald eine breite Verfügbarkeit erreicht ist und die Daten kompatibel sind.

Mit diesem Schritt kann das Gebäude virtuell eingerichtet werden. Das **Ziel** hier ist, das Gebäude nicht nur als **technisches Objekt** (Kosten, Statik usw.) darzustellen, sondern mit der Möglichkeit das Gebäude **individuell** zu

gestalten, **Emotionen** zu erwecken. Dadurch kann die **Identifikation** mit dem geplanten Gebäude erheblich gesteigert und die **Planungsfehler** auf ein Minimum beschränkt werden. In diesem Schritt werden zum ersten Mal Produktdaten im Virtual Reality System manipuliert und ergänzt. Ein **Abgleich** mit dem **Produktdatenmodell** ist deshalb unbedingt erforderlich.

Während bei der Änderung von Attributen (Farbe, Material usw.) und beim Einrichten des Gebäudes ein Abgleich der Produktdaten möglich ist, können bei **strukturellen Änderungen**, wie zum Beispiel das Verschieben von Fenstern und Türen oder das Verschieben und Verdrehen von Wänden, erhebliche Schwierigkeiten beim Abgleich auftreten. Gründe dafür sind die einfachen strukturellen und geometrischen Repräsentationsmöglichkeiten in den Virtual Reality Systemen. Eine einfache Layer- und Gruppenstruktur lässt sich nur schwer in eine hierarchische Gebäudestruktur überführen. Noch schwerer ist die Umwandlung eines **Polygonmodells** in ein **CSG Modell** (siehe 4.2.1). Ohne Rückführung der Änderungen werden aber die Produktdaten und alle abgeleiteten Informationen wie Bauzeichnungen oder Kostenberechnungen inkonsistent und somit nutzlos.

Ob **strukturelle Änderungen** in einem Virtual Reality System zugelassen werden sollen oder besser im CAAD-System einfacher, genauer und übersichtlicher ausgeführt werden können, ist zu **klären**. **Ziel** ist, in Abstimmung mit **Architekten, Ingenieuren, Bauherren** und **Bauträgern** zu untersuchen, inwieweit Änderungen in einem Virtual Reality System **sinnvoll** und **akzeptabel** sind.

Bislang werden im Virtual Reality System **fertige Gebäude** präsentiert. Der **Bauprozess** bleibt dabei unberücksichtigt. Dabei wird beim Bauen vieles mehr oder weniger dem Zufall überlassen. Bereits bei der Baustelleneinrichtung werden zum Beispiel Kranposition und Abladestelle vor Ort festgelegt. Oft verursachen solche ad hoc Entscheidungen erhebliche Folgekosten. Weite Wege, die Suche nach dem richtigen Baumaterial oder versperrte Zufahrtsweg sind nur einige Beispiele von schlechter Baustellenorganisation. Gerade bei vorgefertigten Modulen ist es äußerst wichtig, die Montageabfolge einzuhalten. Die **Simulation** des **Montageprozesses** inklusive der **Logistik** kann **Planungsfehler minimieren** und auf der Baustelle **Zeit** und **Kosten sparen**.

Die **Simulation des Bauprozesses** kann nicht nur für die Planung und Verifizierung in der **Büroumgebung** genutzt, sondern auch auf der **Baustelle** eingesetzt werden. Bei größeren Baustellen werden bereits Notebooks oder Palmtops eingesetzt, um Daten online abzurufen oder weiterzuleiten. Die Simulation des Bauprozesses könnte für alle Gewerke entsprechende Arbeitsanweisungen bereitstellen, relevante Daten zur Verfügung stellen und reale Eckmaße zur **Qualitätsprüfung** anfordern.

Die Akzeptanz der **Simulation des Bauprozesses** hängt davon ab, wie aufwändig die Erstellung ist und welche Einsparungen erreicht werden. Ziel ist es, vom **virtuellen Gebäude** mit wenigen Zusatzinformationen die Simulation des Bauprozesses **abzuleiten**. Der gesamte Bauprozess kann dann **überprüft,** ggf. **optimiert** und als **elektronische Bauanleitung** an die Baustelle weitergeleitet werden. Zur **Qualitätssicherung** werden relevante Eckmaße eingegeben und überprüft.

Das **FZK** ist **seit Jahren** auf dem Gebiet der Virtual Reality tätig. Die Anfänge gehen auf die Simulation und das Monitoring von Manipulatoren und Robotern im Umfeld der Kernfusionstechnik und der industrielle Handhabungstechnik zurück. Heutige Aktivitäten konzentrieren sich auf die **Medizintechnik** (Chirurgie-Trainingssysteme) und auf **3D Informations- und Präsentationssysteme** für die Projekte **ANKA** und **THERESA**. In den Projekten werden das im FZK entwickelte System **KISMET** und die kommerziellen Systeme **ROBCAD** (seit 1988) und **REALAX** (seit 1995) eingesetzt. Die **Erfahrungen** mit der Anwendung und Programmierung der Systeme stehen für die definierten Arbeitspakete **voll zur Verfügung**. Bereits entwickelte Software Basismodule können nahezu unverändert **übernommen** oder **angepasst** werden

4.2.3 CAM im Bauwesen

Computer Aided Manufacturing konzentriert sich im Bauwesen hauptsächlich auf den **Holz- und Stahlbau**. Im Holzbau werden **NC-Programme** für **Abbundanlagen** und **Plattenbearbeitungszentren** aus den CAD-Daten abgeleitet. Im Stahlbau werden die NC-Programme für **Säge-, Bohr- und Schweißzentren** auf der Basis von CAD-Modellen generiert.

Die Programmierung von Robotern auf der Basis von CAD-Daten wurde für **Mauerwerksroboter** und **Schalungsroboter** realisiert. Daneben gibt es verschiedenste Versuche, **Roboter und Handhabungsgeräte** auf der Baustelle direkt oder in der Vorfertigung einzusetzen.

Der erste Schritt zur Erzeugung von Fertigungsdaten ist die **Extraktion der Elemente** aus dem Produktdatenmodell, die in einer Vorfertigung hergestellt werden sollen. Für den Rohbau werden die **Wände**, die **Decken** und die **Dachkonstruktion** benötigt.

Die **Wände** werden in die vorgesehenen **Rohblöcke** (Planblöcke, raumhohe Blöcke usw.) **zerlegt**. Abbildung 4.4 zeigt mögliche einfache Varianten auf. Die Aufteilung muss unter Berücksichtigung von **statischen**, **fertigungstechnischen** und **montagetechnischen** Gesichtpunkten erfolgen. Nach der Zerlegung liegt für jeden Block die äußere Geometrie vor. Durch Dachschrägen, Erker usw. sind die äußeren Konturen nicht nur in der Ebene zu beschreiben, sondern können an den Stirnseiten auch abgeschrägt sein. Die anzusteuernde Maschine zur Erzeugung der Außenkonturen muss deshalb über **mindestens drei Achsen** verfügen. Das **erste Ziel** in der **Softwareentwicklung** ist die **Extraktion** und **Klassifikation** von Wänden aus dem Produktmodell, die **Zerlegung** der Wände in **beliebige Rohblöcke** (unter Berücksichtigung von bestimmten Regeln) und die Erzeugung der Bearbeitungsprogramme für die Fertigung der Außenkontur.

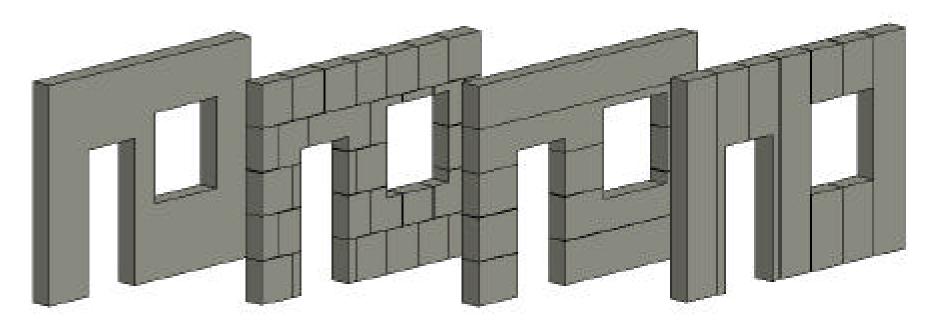


Abb. 4.4: Einfache Wandaufteilung (Originalwand, Blöcke, Horizontal, Vertikal)

Neben der Bearbeitung der Außenkonturen der Wandblöcke werden in der Vorfertigung alle notwendigen Arbeiten für die **Installations- und Montagevorbereitung** erledigt. Die Bearbeitungsschritte reichen vom Bohren einfacher Dübellöcher bis zum Fräsen von 2½D oder 3D Oberflächen. Alle Arbeiten in diesem Fertigungsschritt werden von einem **Industrieroboter** durchgeführt. Die **Bearbeitungsbahnen** für den Roboter inklusive den **Werkzeugwechseln** und der **Ansteuerung der Peripherie** (Logistik, Aufspannung usw.) werden automatisch aus den Produktdaten abgeleitet, in Steuerungsprogramme umgesetzt und auf die Steuerungen (Roboter, Logistik usw.) geladen. Das **Ziel dieses Entwicklungsschrittes** ist die **individuelle Offline Programmierung** aller Arbeitsschritte des **Roboters**, die für die Installation und Montage notwendig sind.

Zur **Planung der Roboterzelle** und für die ersten Tests der generierten Roboterprogramme wird das Offline Programmier- und Simulationssystem **ROBCAD** eingesetzt. Obwohl die Roboterprogramme für jeden Wandblock **individuell** erzeugt werden und in der Regel nur einmal ablaufen, werden die Programme in der realen Fertigung ohne graphische Simulation oder reale Tests auf die Steuerung geladen und gestartet.

Im FZK wurden mehrer Projekte mit **Industrierobotern** durchgeführt. Alle Roboterzellen wurden mit ROBCAD geplant und simuliert. Das FZK war **1988** unter den ersten **10 Anwendern** von ROBCAD. Die Erzeugung von **komplexen Roboterbahnen** auf der Basis von **Freiformflächenmodellen** wurde Anfang 1990 realisiert. Die **Offline Programmierung** von Robotern auf der Basis von **individuellen Werkstückgeometrien** wurde in den Projekten **COMETOS** (**Co**ordinate **Me**asuring and **To**oling **S**ystem) und **AFC** (**A**utomatic **F**ettling **C**ell) softwaretechnisch umgesetzt und an realen Beispielen getestet.

Für die Fertigung von Decken werden den **Zulieferbetrieben** zunächst entsprechende Produktionsdaten zur Verfügung gestellt. Die meisten Hersteller von **Porenbeton- oder Betonfertigdecken** bieten die Erzeugung eines **Verlegeplans** mit Berücksichtigung der Statik als **Serviceleistung** an. Für die Fertigung von **Holzdecken** werden Stücklisten und Geometriedaten für Abbundmaschinen erzeugt und an die Hersteller weitergeleitet.

Wird ein Verlegeplan für **Porenbeton- oder Betonfertigdecken** bereits während der Planungsphase zur Ermittlung der **Statik** und **Kosten** notwendig, muss die Berechnung direkt auf den Produktdaten erfolgen. Die Entwicklung eines **Programms** zur Erstellung von Verlegeplänen auf der Basis des IFC Modells kann vorzugsweise in **Kooperation** mit den **Deckenherstellern** erfolgen.

Analog zu **Decken** wird der **Dachstuhl** von Zulieferbetrieben bezogen. Die Stücklisten und die Geometrie der einzelnen Komponenten, wie Balken, Stützen oder Dachverbundplatten werden im Gebäudemodell ermittelt und in den gewünschten Formaten an die Zulieferer übermittelt. Die Erzeugung der **Fertigungsdaten** für die eingesetzten Maschinen (Abbundmaschinen, Schneidemaschinen usw.) wird vom **Zulieferbetrieb** geleistet.

Die Entwicklungen des **FZK** konzentrieren sich auf die Kompetenzbereiche **Robotik** und **Systementwicklung**. Sind bei Zulieferbetrieben bereits gute Lösungen vorhanden, werden diese genutzt und falls erforderlich angepasst. Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt hier in der möglichst **vollständigen Integration** der Zulieferer.

4.2.4 Online Bilanzierung während der Planung

Während der Planung eines Gebäudes sind zwei Aspekte besonders wichtig: die **Standfestigkeit** (**Statik**) und die **Kosten**. In der Regel werden kleinere Gebäude nach den Wünschen des Bauherrn und mit den Erfahrungen des Architekten oder Systemlieferanten geplant und **danach** die **Statik nachgewiesen** und die **Kosten ermittelt**. Die **Auswirkungen** einzelner Wünsche (z. B. freitragender Balkon) auf die Statik und Kosten können während der **Planung** nur **unzureichend vermittelt** werden. Wünschenswert wäre es jedoch, bereits bei der Planung sofort ein **Feedback** bzgl. Statik und Kosten zu erhalten, um somit frühzeitig einen optimalen Kompromiss zwischen Traumhaus und Budget zu erreichen.

Der erste Schritt, frühzeitig und flexibel die Statiknachweise und Kostenschätzungen zu erhalten, ist, die **Verluste** bei der **Datenübergabe** in die **Statik**- bzw. **AVA**-Systeme zu **minimieren**. Dabei ist zu prüfen, inwieweit die Informationen im IFC Modell für die Statik- und Kostenberechnungen genutzt werden können. Reichen die Informationen aus, um zum Beispiel ein vereinfachtes **Statikmodell** abzuleiten, können Schnittstellenprozessoren entwickelt werden, die ein IFC Modell einlesen und ein Ersatzmodell generieren. Reichen die Informationen nicht aus, muss das Modell erweitert werden. **Ziel** in dieser Phase ist der **Vergleich** der Informationsinhalte im **IFC Modell** und in den **Statik**- bzw. **AVA**-Programmen. Die Programmentwicklung konzentriert sich auf die Generierung von **Statikmodellen** und **Stücklisten**.

Aufbauend auf den ersten Schritt, werden CAAD-, Statik- und AVA-Programm **gekoppelt**. Als Kommunikationsgrundlage der Systeme wird weiterhin das **IFC Modell** genutzt. Während der Planung sind sowohl das **Statik-** als auch das **AVA**-Programm **aktiv**. Benötigt der Planer am CAAD-System aktuelle Statiknachweise und Kostenkalkulationen, wird das IFC Modell aktualisiert, die Änderungen an das Statik- und AVA-Programm weitergeben und die Ergebnisse aktualisiert. **Ziel** ist hier nicht Statik und AVA vollständig in ein CAAD-System zu integrieren, sondern die **Statik-** und **AVA**-Programme in die **Produktdatenumgebung** zu **integrieren**.

Die **Kompetenzen** des **Instituts für Angewandte Informatik** liegen im Bereich der **Datenintegration** und weniger im Bereich **statischer Berechnungen** und **kaufmännischer Kalkulationen** im Bauwesen. Die Aneignung dieses fehlenden Know-hows erfordert **Zeit** und bindet **Entwicklungskapazität**. Zur erfolgreichen Umsetzung der genannten Arbeitspakete sind deshalb FZK-interne oder externe Partner unbedingt erforderlich. Da nicht die Ablösung der kommerziell verfügbaren Systeme angestrebt wird, sondern deren optimale Integration, sind natürlich gerade die Systementwickler potentielle Partner.

4.2.5 Digitales Gebäude / Virtuelles Gebäude

Bisher wurde das Gebäude nur in der **Planungs- und Bauphase** betrachtet. **Facility Management** ist in kleineren Gebäude noch nicht üblich. Die einzigen Informationen, die nach dem Bauen für den Besitzer zur Verfügung stehen, sind **Grundrisspläne**, **Statiknachweise** und viele **Rechnungen**. Das **große Ziel** in diesem Rahmen ist die **ganzheitliche Betrachtungsweise** aller **gebäuderelevanten Informationen** in allen **Lebensphasen**. Das „digitale Gebäude" soll seinem Besitzer oder Nutzer jederzeit Zugriff auf die gewünschten **Informationen** bieten, soll **Fehlfunktionen** oder **Reparatur-** und **Wartungsanforderungen** melden und soll das **Wohnen** noch angenehmer machen und dabei **Umweltressourcen** schonen.

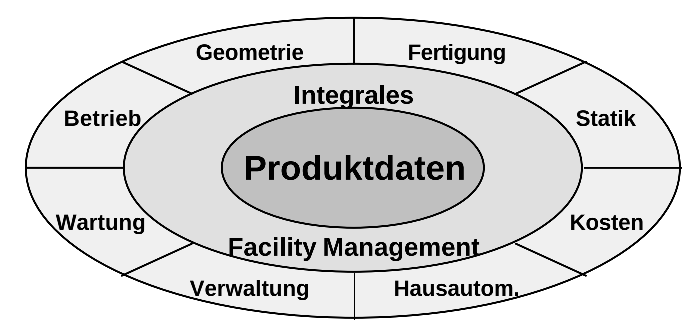


Abb. 4.5: Sichten auf das Digitale Gebäude

Bereits die ersten **Ideen**, die ersten **Entwürfe** und die ersten **Kalkulationen** werden im Produktdatenmodell gespeichert. Im Laufe der **Planungs- und Bauphase** werden alle Daten, die das fertige Gebäude beschreiben hinzugefügt. Diese Daten werden auf den **zentralen Gebäuderechner** (einfacher PC) überspielt und das **Gebäude wird „initialisiert"**. Das bedeutet, der Gebäuderechner erkennt alle relevanten Komponenten (Heizung, Hausnetz, Kommunikation usw.) und übernimmt die **Kontrolle und Steuerung** des Gebäudes. In der **Nutzungsphase** werden die Daten ständig aktualisiert. Betriebsdaten, Reparaturen, Wartungsarbeiten, Nutzungsänderungen werden dokumentiert und gespeichert. Die Bewohner des Gebäudes können jederzeit die

gerade benötigten Informationen abrufen. Je nach Anforderungen werden die Informationen dabei in verschiedene Sichten unterteilt. Abbildung 4.5 zeigt mögliche **Sichtweisen** auf das Gebäude. Stehen **Umbaumaßnahmen** oder **Nutzungsänderungen** an, kann auf die gesamten Produktdaten zurückgegriffen werden. Beim **Verkauf** des Gebäudes kann zum Beispiel eine komplette Energiebilanz Eindrücke über den Zustand des Gebäudes vermitteln. Der **Abriss** und die **Entsorgung** des Gebäudes kann detailliert geplant und kalkuliert werden.

Alle **Aktivitäten** im Bereich der Informationstechnologie im Bauwesen münden im **„digitalen Gebäude“**. Die große Herausforderung ist dabei nicht die **Beschaffung** und **Erzeugung** von **Daten**, sondern die **Aktualisierung**, **Pflege**, **Sicherung** und **Zugänglichkeit** der Informationen.

Durch die **lange Lebensdauer** eines Gebäudes und die **hohe Entwicklungsgeschwindigkeit** in der Informationstechnik sind Alleingänge zum Scheitern verurteilt. Das **„digitale Gebäude“** findet nur auf der Basis eines internationalen Produktdatenmodells eine breite Akzeptanz. Das **IFC Modell** der **International Alliance for Interoperability (IAI)** ist auf dem Weg eine breite Akzeptanz zu erreichen.

Die Aktivitäten des **FZK** werden sich deshalb darauf **konzentrieren**, die Entwicklung des **IFC Modells** mit zu **gestalten**, Erfahrung aus dem STEP Umfeld **einzubringen** und als neutrales Forschungszentrum die Integration **voranzutreiben**.

4.3 Fertigung

4.3.1 Potenzial

Alle Bemühungen die Fertigungsqualität beim Hochbau voranzutreiben verfolgen drei Ziele mit abnehmender Priorität:

1. Kostenreduktion,
2. Verbesserung der Qualität und
3. Verkürzung der Bauphase.

Eine Verkürzung der Bauphase bringt eine Reihe positiver sekundärer Effekte. Die Doppelbelastung des Bauherrn durch Mietzahlungen und Finanzierungskosten des laufenden Bauprojektes werden geringer. Die Umweltbelastungen durch Baulärm und Baustellenverkehr nehmen ab.

Bessere Qualität bedeutet zuerst eine Vermeidung von Baumängeln. Teilweise ist das nur planerisch konstruktiv zu erreichen und Aufgabe der Architekten und Fachingenieure, die zukünftig z. B. durch Regelwerke nach ISO 9000 ff unterstützt werden müssen. Der Anteil, der durch Versäumnisse auf der Baustelle verursacht wird, wird durch die Vorfertigung unter deutlich besser strukturierten Bedingungen automatisch zurückgehen. Bei der Vorfertigung kann die Qualität leicht kontinuierlich überprüft werden, was Voraussetzung für die ‚Produktion von Qualität’ ist, die am Ende ohne eigenständige Qualitätskontrolle auskommt.

Oberstes Ziel ist die Kostenreduktion, was nicht zwangsläufig bedeuten muss, dass die Häuser billiger werden. Einsparungen können in bessere Ausstattung und mehr Komfort investiert werden. Die Preise von Steinen, Dachziegeln, Beton, normgerechten Türen, Wandfarben etc. lassen sich gewiss nur sehr wenig beeinflussen, weil ihre Herstellung bereits in industriellem Maßstab erfolgt. Einige Möglichkeiten bieten schon heute abseits der Baustelle vorgefertigte Baugruppen wie Dachstühle und Stahlbauteile, die noch häufig handwerklich ausgeführt werden, obwohl leistungsfähige Automatisierungslösungen bekannt sind. Das größte Potenzial bietet die Einsparung von Lohnkosten, die bei ca. 40% der Baukosten liegen. Tabelle 4.1 zeigt das Potenzial nach Gewerken getrennt.

Ziel des Vorhabens ist eine Kosteneinsparung von 20%, also etwa dem Lohnkostenanteil für Maurer und Betonarbeiten. Erreichbar ist dieses Ziel durch eine effektive Vorfertigung verbunden mit kurzer Montagezeit und durch Teilintegration anderer Gewerke in die Vorfertigung. Der montierte ‚Rohbau’ ist durch die in der Vorfertigung ausgeführten Wandinstallationen und den aufgetragenen Putz sowie seiner Maßhaltigkeit soweit veredelt, dass die Lohnkosten für die Rohbaufertigung in den Folgegewerken gespart werden.

Dass im Rohbau ca. 20% Baukosten in Form von Lohnkosten einzusparen sind, belegt beispielsweise der Preisunterschied zwischen einem Selbstbauhaus und einem Ausbauhaus der Firma Hebel. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Angeboten liegt darin, dass beim Selbstbauhaus die Mauern nicht wie beim Ausbauhaus vom Lieferanten aufgemauert werden.

Gewerk	% -Anteil an den Baukosten	Davon beträgt der Lohnanteil in %	Lohnkostenanteil an Gesamtbaukosten
Erd-, Maurer- und Betonarbeiten	43,0	55	***23,7***
Zimmerarbeiten	2,5	47	1,2
Dachdecker	3,0	40	1,2
Flaschner	1,5	35	0,5
Fenster und Türen	6,0	35	2,1
Heizung	7,0	27	1,9
Sanitär	5,0	42	2,1
Elektro	2,0	50	1,0
Estrich	2,0	53	1,0
Bodenbeläge	4,0	55	2,2
Fliesen	1,8	36	0,6
Putzer	10,0	30	3,0
Maler	1,8	60	1,1
Schlosser	0,5	43	0,2
Reinigung	0,1	80	0,1
		durchschnittlich* 42%	
Sonstiges zum Teil auch auf o.g. Gewerke verteilt	9,8		

* gewichteter Durchschnitt

Tab. 4.1: Baukostenverteilung (Quelle: [MOS98] und eigene Ergänzung)

4.3.2 Ansatz

Die ‚Automatisierungsgerechte Konstruktion' läuft im Wohnungsbau darauf hinaus, dass Rastermaße (z. B. 62,5 cm) eingehalten werden müssen. Zulässige Stützweiten für die Decken ergeben sich aus den Bedingungen der Fertigungsanlage und den Transportmöglichkeiten. Bei sehr vielen Bauprojekten wird diese Einschränkung keinen Einfluss auf den Wohn- und Nutzwert haben und ist ein sehr probates Mittel zur Kostensenkung. Aus dem Ansatz ergeben sich aber eine Reihe von Problemen:

1. Ein freier Architektenentwurf hält sich nicht automatisch an ein Rastermaß.
2. Insbesondere bei engen Raumsituationen leidet die Wohnqualität, weil einige Zentimeter manchmal doch den Unterschied ausmachen (z. B. passt die Waschmaschine in die Nische oder fehlen 5 cm?).
3. Manchmal sind Maße durch äußere Einflüsse (z. B. Baulücke bei Reihenhausbebauung oder bei Umbaumaßnahmen) vorgegeben.

Eine Fertigungstechnologie, die einen nennenswerten Marktanteil erreichen will, muss deshalb freie Maße zulassen.

Individuelle Maße können auf zwei Wegen produziert werden:

1. Beton wird meist in Schalungen gegossen, die maßlich angepasst sind.
2. Bei Wänden aus Steinen und Holzwerkstoffen werden Vorprodukte (z. B. Mauersteine, Spanplatten) eingesetzt, die zurechtgesägt werden.

Man kann fragen, ob es nicht sinnvoll wäre, schon die Steinproduktion so zu beeinflussen und zu verändern, dass bei der Produktion kein Verschnitt anfällt. In der gesamten Fertigungstechnik, sogar bei der Produktion von Massenprodukten, aber erst recht bei der Fertigung von Einzelstücken, wird auf Halbzeuge aufgesetzt. Autokarosserien werden z. B. aus Blechen tiefgezogen, die zu großen Coils aufgewickelt sind. Die Umsetzung eines Forschungsvorhabens wird deutlich einfacher, wenn es gelingt, das Vorhaben auf bestehende Strukturen aufzusetzen und auf existierende Schnittstellen aufzubauen. Aus diesen Gründen wird das Vorhaben nicht in die Baustoffproduktion eingreifen, sondern einen Schritt danach beginnen.

In mehreren Vorfertigungswerken werden ausgehend von vorgefertigten flächigen Elementen aus unterschiedlichen Baustoffen die ‚Baugruppen' für die Endmontage auf der Baustelle konfektioniert.

4.3.3 Grundlagen

Häuserfertigung ist Einzelfertigung. Die Arbeitsvorbereitung, Rüstzeiten und Programmierzeiten für CNC-Maschinen können nicht auf viele Teile umgelegt werden. Es besteht durchaus die Gefahr, dass ein Teil des Aufwands für die Mauerfertigung von der Baustelle in die Büros des Vorfertigungswerkes verlegt wird.

In der großen Mehrzahl werden Wohngebäude aus vergleichsweise einfachen, meist ebenen Flächenelementen aufgebaut. Das gilt für Wände, Dächer und Decken. Wenn es gelingt, diese Flächenelemente strukturiert aus dem **Produktmodell** zu extrahieren, dann können CNC-Programme automatisch generiert werden. In einer Übergangszeit ist noch ein Fachmann mit der Plausibilitätsprüfung der Programme betraut. Langfristig wird nur noch in Sonderfällen ein Spezialist benötigt, wenn z. B. Grenzwerte, wie die maximale Deckenspannweite, überschritten werden.

4.3.4 Rohbau-Objekte

Aus fertigungstechnischer Sicht müssen die Baustoffe und die logischen Fertigungseinheiten auseinander gehalten werden. Es ergibt sich eine Matrixstruktur, die in Tabelle 4.2 dargestellt ist. Eine solche Struktur muss in den Produktdaten abgebildet sein, weil sich daraus die Fertigungsaufträge entwickeln.

	Beton	**Stein**	**Holz**	**Verbund-Konstruktion**	**Stahl**
Fundament	X *				
Bodenplatte	X *				
Kelleraußenwand im Erdreich	X *	+			
Kelleraußenwand freistehend	X	*			
Tragende Keller-Innenwand		X *			
Nichttragende Keller-Innenwand		X *	+	+	
Kellertreppe	X	+	+		*
Kellerdecke	X *	+			
Außenwand		X *			
Tragende Innenwand		X *	+		
Trennwand		X	+	*	
Treppe	+	+	+		*
Geschossdecke	X *	+	+		
Schornstein		X *			+
Dach	+	+	X	*	

X – Standard; * - FZK-Haus; + - Alternativen

Tab. 4.2: Matrix aus Baustoffen und Rohbau-Objekten

Die Rohbauobjekte werden in der nächsten Detaillierungsstufe mit weiteren Attributen versehen. Betrachtet man das Objekt Außenwand, so ergeben sich mindestens folgende Attribute, die teilweise ihrerseits auf Objekte (z. B. Fenster) verweisen:

- Fensteröffnung
- Türöffnung
- Durchbruch
- Nische
- Rollladenkasten
- Gurtwicklerkasten
- Sturz
- Wandanschluss
- Installationsschlitz
- Wandheizung
- Elektroinstallation
- Sanitärinstallation
- Dübellöcher
- Putz auf Wandvorderseite
- Putz auf Wandrückseite
- Wandfinish auf Vorderseite
- Wandfinish auf Rückseite

Wird eine Wand auf das Format des Ausgangsmaterials abgebildet, so werden meist mehrere Steine benötigt werden. Die Verteilung der Steine hat verschiedene Restriktionen zu berücksichtigen, die auch von der Art der Steine abhängen. Bei im Verbund gemauerten Wänden ist z. B. eine Mindestüberdeckung zu gewährleisten. Bei raumhohen Steinen dürfen z. B. die Steinbreiten wegen der Bruchgefahr nicht zu klein werden. Nach der Aufteilung der Wand in einzelne Steine kann mit Hilfe der Wandattribute die Erstellung der CNC-Programme erfolgen.

4.3.5 Fundament und Bodenplatte

Natürlich ist es vorstellbar, das Fundament eines Hauses aus vorgefertigten Elementen zu bauen, die auf einem Kies- oder Schotterbett aufgestellt werden. Auf einer solchen Gründung könnte eine Bodenplatte wie eine Geschossdecke aufgelegt werden. Bei Gartenhäusern scheint diese Technik akzeptiert zu werden. Wohn- und Geschäftsgebäude hingegen werden auf ‚sichere Fundamente' gestellt, die auf der Baustelle mit geringem Schalungsaufwand (die Gussform wird in die Erde gegraben) aus Transportbeton gegossen werden.

Zwei Punkte bieten hierbei Rationalisierungspotential:

1. Die Stahlarmierung für den Betonboden kann passgenau vorgefertigt werden [BAM00]. Ein Automat schweißt die benötigten Armierungsstähle vollautomatisch auf Metallbänder und wickelt die ‚Matte' wie einen Teppich auf. Auf der Baustelle wird der ‚Teppich' einfach ausgerollt. Ein zweiter ‚Teppich', senkrecht zum ersten verlegt, vervollständigt die Armierung auf der Fläche. Wird statt der Streifenfundamente eine tragende Bodenplatte gebaut, so gibt es keine Fundamentgräben, die eine zusätzliche Armierung benötigen würden.
2. Aus wärmetechnischen Gründen müssen Gebäude in Zukunft rundum gedämmt werden, d. h. auch unterhalb der Bodenplatte und unterhalb des Fundamentes. Unter der Bodenplatte bietet sich eine Dämmung aus schüttfähigem mineralischem Material an, das nicht verrottet und leicht auf einer beliebig geformten Fläche verteilt werden kann.
   Senkrechte Flächen im Bereich von Streifenfundamenten und an der äußeren Begrenzung der Bodenplatte müssen mit plattenförmigen Isolierstoffen gedämmt werden. Auch dabei bietet eine tragende Bodenplatte deutliche Vorteile gegenüber Streifenfundamenten. Die äußere Abschalung erfolgt lohnkostensparend aus einem Verbundmaterial, das dämmt und während der Fertigung den Druck des frischen Betons aufnimmt. Diese Schalung kann vorgefertigt werden und komplett im Erdreich verbleiben.

Dämmungen müssen trocken bleiben, weil sich ihre Eigenschaften sonst dramatisch verschlechtern. Mittelfristig muss untersucht werden, ob dies z. B. von einer verschweißten (Teich-)Folie geleistet wird, die die gesamte Baugrube ausfüllt. Sind die Kosten für eine solche (vorgefertigte) Wanne akzeptabel? Alternativ bietet sich bei Häusern mit Keller die Isolation der Kellerdecke an, was jedoch die Nutzung des Kellers als Wohnraum ausschließt.

4.3.6 Keller

Betrachtet man einen Gebäudegrundriss, so ist kaum ein Unterschied zwischen Keller und anderen Geschossen feststellbar. Dennoch gibt es genug Gründe, den Keller gesondert zu betrachten:

1. Im Zusammenhang mit kostengünstigem Bauen wird von Vielen der Verzicht auf einen Keller propagiert.
2. Traditionell hat der Keller wegen seines besonderen Klimas die Funktion als Vorratsspeicher.
3. Keller sind üblicherweise in den Boden hineingebaut. Daraus ergibt sich das kühle Klima mit hoher Luftfeuchte.
4. Die Grenzen zwischen Fundament und Keller verwischen sich manchmal (tragende Bodenplatte statt Streifenfundament).
5. Für Kellerräume wird meist Beton bevorzugt, in Geschosswänden wird Beton meist gemieden.

Bei sehr ungünstigem Baugrund (z. B. Fels) ist der Verzicht auf einen Keller zu erwägen. Sonst aber sollte sehr genau abgewogen werden. Viele Funktionen erfüllt ein Keller auch in sehr einfacher Ausführung, ohne Putz und Estrich, mit billigen Türen und Fenstern und einer einfachen Elektroinstallation. Eine Außentreppe ist deutlich preisgünstiger zu realisieren als eine Innentreppe und bietet große Vorteile bei der Nutzung als Fahrradkeller und Abstellraum für Gartengeräte etc.

Die Trends zeigen eher dahin, im Keller häusliche Büros und Fitnessräume unterzubringen. Trotzdem sollte sich der Bauwillige fragen, wo er Getränkekisten oder einen Sack Kartoffeln kühl zwischenlagern kann.

Prinzipiell können alle Kellerwände aus den gleichen Materialien wie die Geschosswände gefertigt werden. Gegen anstehendes Erdreich sind diese Wände mit geeigneten Beschichtungen zu versehen, damit sie trocken

bleiben. Diese Beschichtungen müssen sorgfältig aufgespachtelt werden, was lohnintensiv ist. Deshalb und wegen der grundsätzlichen Vorliebe deutscher Bauherren für Keller aus Beton werden beim FZK-Haus nur die **freistehenden Kelleraußenwände** und die **Innenwände** aus Steinen gefertigt. **Wände gegen das Erdreich** werden aus Betonfertigelementen ausgeführt, die wie die Decken vollautomatisch mit Gleitfertigern hergestellt werden können (s. Kap. 3.2.2.1). Wenn statisch erforderlich, können die Hohlräume der Hohlplatten mit Ortbeton ausgegossen werden. Sonst empfiehlt sich eine Füllung mit Isolationsmaterial. Die Fugen zwischen den Platten werden mit wasserundurchlässigem Mörtel verpresst. Bei drückendem Wasser werden zusätzlich Dichtschnüre aus quellfähigem Bentonit eingelegt (s. Abb. 4.6). Solche Kellerwände aus endlos geformten und zurechtgesägten Hohlplatten sind heute unüblich. Selbstverständlich können auch andere Fertigkeller die Basis des FZK-Hauses bilden. Die Fertigungsautomatisierung ist bei anderen Varianten jedoch erheblich aufwändiger.

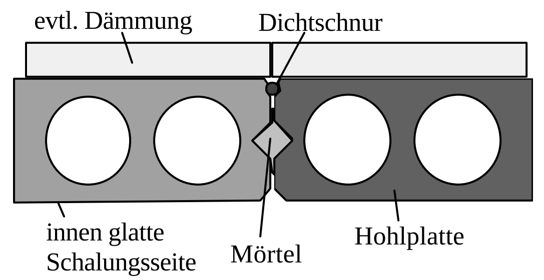


Abb. 4.6: Ausführung der Stöße von Hohlplatten bei Verwendung als Kelleraußenwand

Keller-Trennwände sollten in unklimatisierten Kellern aus unverrottbarem Material bestehen, sofern sie nicht ganz weggelassen werden können. Sie werden wie die tragenden Wände aus Stein realisiert. Bei klimatisierten Wohnkellern kann der Innenausbau wie bei anderen Wohngeschossen erfolgen.

Die preisgünstigste **Kellertreppe** befindet sich wie bereits erwähnt im Garten. Wegen des Wärmeschutzes ist innerhalb der Wohnung eine gut isolierende Tür am Kellerabgang sinnvoll. Offene Treppenhäuser sind energetisch fragwürdig. Ist die Kellertreppe nicht sichtbar, so kann eine einfache Fertigbetontreppe eingebaut werden, deren Stufen auch roh, ohne Belag aus Holz oder Fliesen, belassen werden können.

Die **Kellerdecke** unterscheidet sich von anderen Decken durch die Dicke der Dämmung. Bei einem einfachen unbeheizten Keller lässt sich die Dämmung am einfachsten auf der Kellerdecke aufbringen. Das birgt jedoch die Gefahr von Kältebrücken, wenn Außenwände z. B. aus tragfähigem Kalksandstein mit vorgesetzter Isolierung erstellt werden. Eine monolithische Wand aus gut dämmendem Material (Porenbeton, Leichtbeton) ist deutlich günstiger, was Abb. 4.7 zeigt. Die Standarddecke im FZK-Haus wird eine Spannbetonhohlplattendecke sein (s. Kap. 4.2.8).

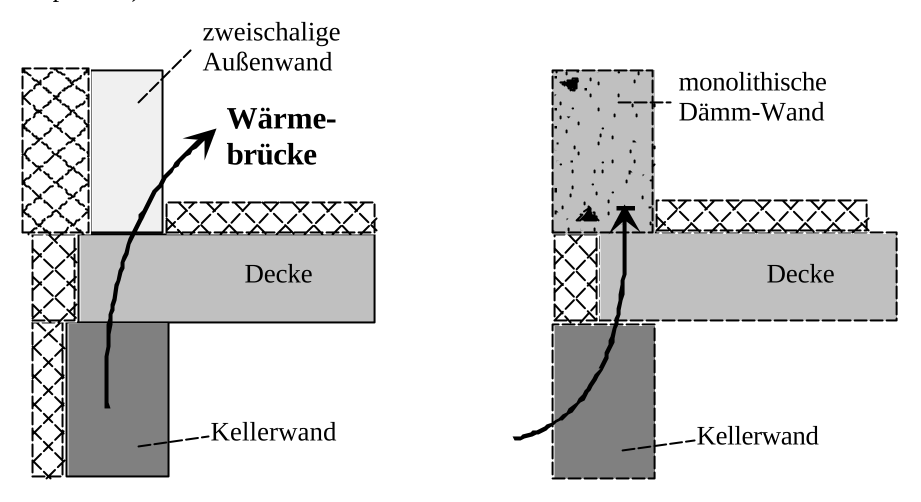


Abb. 4.7: Wärmebrücken bei Deckendämmung

4.3.7 Vorfertigung Wände

Mindestens vier Gruppen von Wänden sind zu unterscheiden:

1. an das Erdreich grenzende Außenwände (vornehmlich im Kellerbereich),
2. freistehende Außenwände,
3. tragende Innenwände und
4. Trennwände.

Im FZK-Haus werden wie in Kap. 4.2.6 beschrieben standardmäßig Betonhohlplatten für die **Kelleraußenwände** eingesetzt. Wandinstallationen jeglicher Art finden in den senkrechten Hohlräumen der Betonhohlplatten ausreichend Platz. Allerdings können Unterputzdosen und Wasseranschlüsse etc. nicht ganz beliebig verteilt werden. Es ist immer das innere Rastermaß der Hohlräume einzuhalten. Die horizontale Verteilung der Versorgungsleitungen erfolgt auf Estrichniveau in ausgebauten Kellern oder in einem aufgesetzten Kabelkanal unterhalb der Decke (s. Abb. 4.8).

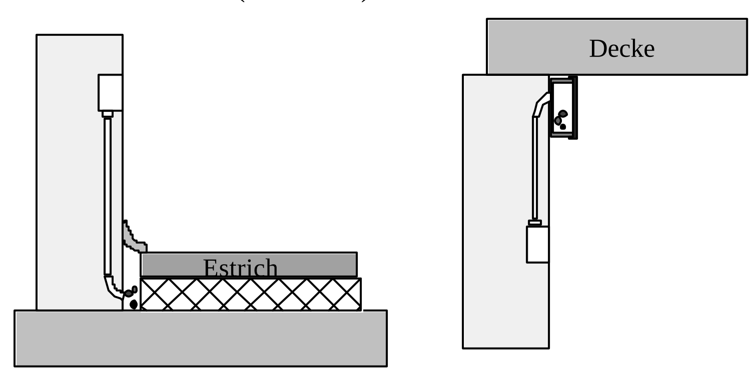


Abb. 4.8: Horizontale Verteilung der Versorgungsleitungen

Freistehende Außenwände und tragende Innenwände werden z. B. aus 60 cm breiten und raumhohen Porenbetonsteinen gefertigt. Der Werkstoff Porenbeton ist gegen Leichtbeton mit Blähton- oder Blähglasanteilen austauschbar. In Frankreich stellt die Firma Guiraud frères Tonsteine mit den gleichen Abmaßen her. Kalksandsteine entsprechender Größe wären wohl ebenfalls herstellbar. Die Porenbetonsteine sind deutschlandweit verfügbar. Aus Porenbeton können monolithische einschalige Wände gemauert werden, die bei vertretbaren Wandstärken auch die künftige Energieeinsparverordnung kostengünstig erfüllen werden. Porenbeton ist leicht zu bearbeiten. Der Stein besteht durch und durch aus homogenem Material. Anders als bei Hochlochziegeln entstehen bei der Bearbeitung immer glatte ebene Flächen.

Die einschalige Bauweise bietet eine Reihe wichtiger Vorteile:

1. Die Wand wird in einem Arbeitsgang montiert. Lohnintensives Aufkleben und Verdübeln von Dämmplatten entfällt.
2. Aufwändige Verkleidungen in Fensterlaibungen und an Gebäudehüllen entfallen.
3. Beim Rückbau fällt ausschließlich mineralisches Material an, das problemlos deponierbar oder recycelbar ist.
4. Arbeiten mit Fasern, die im Verdacht stehen die Lungen zu schädigen, entfallen.

Um Vorfertigung und Montage günstig gestalten zu können, sind einige Details zu beachten:

1. Die Porenbetonsteine werden aus Sicherheitsgründen mit einer sogenannten Transportbewehrung aus Stahl gefertigt. An dieser Bewehrung ist eine Öse angebracht, in die der Kranhaken zum Versetzen des Steins eingehängt wird. Dabei wird der Porenbeton ungünstig auf Zug beansprucht. Stahl behindert die Bearbeitung des Steins und kostet darüber hinaus Geld. Mit einem Versetzgerät ähnlich einer Sackkarre, auf das der Stein gestellt wird, wird Zugbeanspruchung vermieden und das Unfallrisiko durch herunterfallende Stein-Bruchstücke minimiert. Die Berufsgenossenschaften werden zu überzeugen sein, auf die Transportbewehrung zu verzichten.
2. In den Wänden werden alle Installationen senkrecht geführt. Schlitze beginnen in der Höhe des Anschlusspunktes und enden auf Bodenniveau. Heizungsrohre und die Wasserversorgung werden wie heute allgemein üblich in der Trittschalldämmung unterhalb des Estrichs verlegt. Für die Elektroverteilung entsteht zwischen Estrich und Wänden ein Kabelkanal, der von der Fußleiste abgedeckt wird (s. Abb. 4.8). Die Elektroinstallation wird dadurch sehr flexibel. Die horizontale Ableitung des Abwassers geschieht in der Vorwandinstallation oder in den Kammern der Spannbetonhohlplattendecke (s. Kap. 4.2.8). Die horizontale Erschließung für die Luftführung benötigt beim Einsatz der Hohlplattendecken keine Verrohrung, da die Hohlräume unmittelbar genutzt werden können.

Im Allgemeinen sind ein Dutzend Fertigungsschritte nötig, um aus einem raumhohen Stein ein Wandelement zu machen:

1. Stein auf die gewünschte Raum- bzw. Brüstungshöhe **ablängen**. (Sollte bei ‚normalen' Geschossen gestalterisch vermieden werden.) In Dachgeschossen Giebelschrägen und Kniestockschrägen sägen.

2. Stein auf gewünschte Breite, evtl. mit Gehrungsschnitt, **zurechtsägen**. (Bei Einhaltung des Steinrastermaßes ist dieser Schritt selten nötig.)
3. **Aussparungen** für Rollladenkästen, Stürze, Dachpfetten etc. sägen und fräsen.
4. **Anschläge und Nuten** für die Fensterrahmen fräsen.
5. **Mörtelfugen** für den Wandverband fräsen.
6. **Installationsschlitze** fräsen.
7. Wandinstallationen **montieren.**
8. **Innenputz** auftragen.
9. Stein **wenden.**
10. **Installationsschlitze** fräsen.
11. Installationen **montieren.**
12. **Innen-** bzw. **Außengrundputz** auftragen.

Mit den aus dem Produktdatenmodell abgeleiteten CNC-Programmen können diese Aufgaben weitgehend automatisch ausgeführt werden. Nur die Montage der Wandinstallationen erfolgt manuell. Das Auftragen des Putzes geschieht mit einfachen Vorrichtungen. Dabei erledigt ein geübter Handwerker die Detailarbeit.

Trennwände können ebenso wie die übrigen Wände aus raumhohen Porenbetonsteinen erstellt werden, die mit den gleichen Fertigungseinrichtungen wie die anderen Wände konfektioniert werden. Diese Steine sind im unverbauten Zustand etwas empfindlich. Sollen die nicht tragenden Wände auf den Estrich montiert werden, damit sie bei Bedarf leichter versetzt werden können, so müssen sie auf der Baustelle evtl. ohne Kran montiert und möglicherweise von Hand in das Gebäude hineingetragen werden, was immer bei Umbauten der Fall ist. Dafür empfiehlt sich ein robusterer Wandaufbau aus einem sandwichmäßig aufgebauten Verbundmaterial. Die bessere Alternative zum manuellen Transport ist, die Wandtafeln vor der Deckenmontage mit dem Kran an Ort und Stelle zu setzen und vor dem Estrichverguss an der Decke aufzuhängen. Dies funktioniert nur mit bruchfesten und auf Zug belastbaren Werkstoffen. Denkbar sind verschiedene Werkstoffalternativen, die jedoch nicht alle im Handel erhältlich sind:

1. Sandwich aus zwei Gipskartonplatten, gefüllt mit Flachsfasern [FAA00],
2. beidseitig mit Gipskarton beklebtes Styropor,
3. Sandwich aus zwei Platten deren Zwischenraum mit PU-Schaum gefüllt ist,
4. Holzwerkstoffplatten, gefüllt mit gebundener Zellulose aus Altpapier (s. Abb. 4.9).

Alle diese Verbundmaterialien lassen sich leicht und vollautomatisch auf die erforderlichen Maße zurechtsägen. Auch die Herstellung der Platten kann sehr effektiv und sogar vollautomatisch erfolgen. Gegenüber Ständerwänden können erhebliche Lohnkosten gespart werden. Die Stabilität der Wände wird durch den Sandwichverbund gewährleistet, nicht durch Holz- oder Metallkonstruktionen.

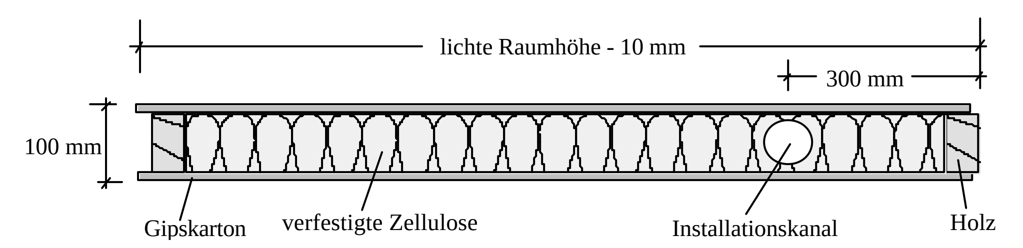


Abb. 4.9: Beispiel einer Verbundplatte

Die Wasser- und Abwasserführung sollte in der Vorwandinstallation realisiert werden. Nicht tragende Wände bieten nur Platz für Elektroinstallationen. Ein Leerrohr in 300 mm Höhe sollte in der Verbundplatte vorgesehen sein, sonst muss der Kanal bei der Konfektionierung ebenso gebohrt werden wie der Kanal zu einem Lichtschalter, der z. B. auf 1,2 m angeordnet ist.

Zwei Montagevarianten sind denkbar:

1. Wenn die Trennwände nach dem Verguss des Estrichs eingesetzt werden, wird an der Decke eine Latte befestigt. Die Nuten der Verbundplatten werden eingefädelt. Auf dem Boden werden die Platten verkeilt und in gleichmäßigen Abständen verdübelt.
2. Werden die Trennwände fortlaufend mit dem Baufortschritt eingebaut, so können sie mit langen Schrauben, die durch die Decke gesteckt werden in der richtigen Position aufgehängt werden. Mit einigen Laschen werden sie auch auf dem Rohboden verdübelt. Der Estrich kann dadurch auch unter die Trennwand fließen. Es entsteht über alle Räume hinweg eine ebene Fläche.

Die Fuge am Fertigboden wird z. B. mit einer Wollschnur zugestopft oder mit PU-Schaum ausgespritzt. Bei Anschlüssen an tragende Wände werden die Verbundplatten zur Stabilisierung in eine Mauernut der tragenden

Wand hineingeschoben. Für Eckverbindungen der Wände aus Verbundplatten werden spezielle Eckprofile bereitgestellt.

Die Vorfertigung der Verbundplattenwände wird sinnvollerweise in einem Werk für Fertighäuser aus Wandtafeln oder im Herstellungswerk der Verbundplatten angesiedelt.

4.3.8 Vorfertigung Decke

Auf die vorgefertigten Wände kann jede Art von Decke aufgelegt werden. Um den Baufortschritt nicht aufzuhalten, sollte unbedingt eine Deckenkonstruktion vorgesehen werden, die sofort belastbar ist und möglichst wenige temporäre Stützen benötigt, die im darunter liegenden Geschoss den Ausbau behindern und anschließend von Hand aus der Baustelle herausgetragen werden müssen.

In Frage kommen folgende Varianten:

1. Porenbetonfertigdecke,
2. Holzdecke oder
3. Betonfertigdecke.

Mit **Porenbetonfertigdecken** können Stützweiten von 7 Metern realisiert werden. Wegen der guten Dämmeigenschaften des Materials kann die Isolationsschicht auf der Decke niedriger ausfallen als auf einer Betondecke, allerdings ist die Decke selbst etwas dicker. Die Gestaltung von Balkonen, die keine Wärmebrücken sein sollen, ist mit Porenbeton einfach. Ein weiterer Vorteil tritt beim Rückbau auf, wenn Wände und Decken aus dem gleichen Material bestehen und deshalb keine Trennung erfolgen muss. In der Decke gibt es keine Hohlräume. Die Luft- und Abwasserführung muss vollständig in den Wänden bzw. als Vorwandinstallation erfolgen.

Holzdecken werden gelegentlich aus gestalterischen Gründen gewünscht. Die Tragkonstruktion kann wie das Gebälk des Daches auf vollautomatischen Abbundmaschinen hergestellt werden. Sofern in den Wänden, was vorgesehen ist, die Aussparungen für die Tragbalken eingelassen sind, können die Hölzer auf der Baustelle sehr rasch verlegt werden. Die Bretter oder Bauplatten für die Schalung auf den Tragbalken können in den richtigen Maßen auf die Baustelle angeliefert werden und sind dann binnen Stunden montiert. Da die Wände quasi als Montagevorrichtung dienen und Holzdecken vergleichsweise selten erwünscht werden, lohnt eine weitergehende Vorfertigung wahrscheinlich nicht.

Elektroleitungen zu Lichtauslässen werden ebenso auf der Schalung verlegt wie Heizungs- und Wasserrohre. Wird die Holzkonstruktion auf der Unterseite verkleidet, so finden alle Abwasser- und Luftleitungen Platz. Manchmal kann eine Luftleitung durch eine partiell abgehängte Decke evtl. verbunden mit einer indirekten Beleuchtung kaschiert werden.

Eine Deckenkonstruktion aus **Spannbetonhohlplatten** ist in vielerlei Hinsicht ideal (s. Tab. 4.3):

1. Vollautomatische Fertigung auf Gleitfertigern (s. Kap. 3.2.2.1).
2. Sehr günstiges Verhältnis von Gewicht zu Tragfähigkeit.
3. Große Spannweiten erlauben große Freiheiten für die Grundrisse.
4. Abbildung der Decke auf die einzelnen Hohlplatten kann auf die gleiche Weise wie die Abbildung der Wände auf die Steine erfolgen.
5. Eine überschlägige Statik ist sehr einfach. Deshalb kann sie in die Entwicklungswerkzeuge für das Haus eingearbeitet werden. Dies erlaubt sehr frühe Aussagen über die Machbarkeit des Entwurfs und den Preis.
6. Die Hohlräume eignen sich ideal zur horizontalen Verteilung von Abwasser und Luft.

VARIAX – Spannbeton-Hohldecke (Fa. Schwörer)]		
Typ	V6/200	V5/265
Dicke [cm]	20	26,5
Gewicht [kN /m²]	2,6	3,8
Belag g_2	1 kN /m²	
Verkehrslast [kN / m²]	Zul. Stützweite [m]	
1,5	11,65	14,8
2,5	10,45	13,55
3,5	9,5	12,45

Tab. 4.3: Typische Parameter für Spannbetonhohlplattendecken

Die Platten sind 1,2 m breit. Auf der Ladefläche eines Sattelschleppers können ohne Zusatzmaßnamen Platten bis zu 13 m Länge transportiert werden. Ein solches Deckenelement wiegt ca. 60 kN (= 6 t) und überdeckt 15,6 m². Auf einem LKW lässt sich mindestens die Decke für ein 80-m²-Haus mit einer Grundfläche von 13 m x 6 m transportieren. Beträgt die größte Spannweite statt 13 m nur 10 m, so lässt sich die Decke für eine Grundfläche von 115 m² (10 m x 11,5 m) auf einem LKW transportieren. Eine solche Deckenplatte wiegt nur 3,1 Tonnen. Beide Grundrisse kommen ohne tragende Innenwände aus, was Platz spart und letztlich eine größere Wohnfläche ergibt. Die Deckenlasten werden von zwei Wänden abgetragen. Die anderen Außenwände haben statisch eine aussteifende Funktion, die jedoch von einem kleinen Teil der Wand oder alternativ von einem Treppenhaus erbracht werden kann. Dadurch ergeben sich an diesen Wänden viele Möglichkeiten der Umgestaltung bei Umbauten. Falls z. B. in einer Reihenhaussiedlung die Treppenhäuser die Aussteifung übernehmen, können die Häuser leicht ein individuelles Gesicht auf Basis einer einheitlichen Statik bekommen, weil die Vorder- und Rückseiten der Häuser frei von statischen Zwängen gestaltet werden können. Diese Möglichkeit wird durch die freie Innenraumgestaltung mit unterstützt.

Bei der Konfektionierung der (fast) endlos gefertigten Spannbetonhohlplatten sind die folgenden Arbeitsschritte auszuführen und **Deckenobjekte** zu realisieren:

1. Ablängen der Platte, evtl. mit Kurvenschnitt z. B. bei einer Deckenöffnung für eine Wendeltreppe.
2. Längsschnitt, evtl. Kurvenschnitt bei gewölbter Fassade, um Plattenbreite anzupassen.
3. Aussparung für Schornstein anbringen.
4. Aussparung im Auflagerbereich anbringen als Durchlass von Ver- und Entsorgungsleitungen.
5. Löcher für Leuchtenauslässe und zur Befestigung der Trennwände bohren.
6. Öffnen der Höhlräume von der Deckenoberseite aus zur Montage der horizontalen Abwasserleitungen.
7. Öffnen der Hohlräume von der Deckenunterseite für Luftein- und Luftaustrittsöffnungen.
8. Öffnen der Hohlräume von der Oberseite aus zur statischen Verankerung von Balkonplatten und Kniestöcken.

Alle diese Arbeiten lassen sich in frischem Beton ausführen. Die ‚Schnittgeschwindigkeiten' sind im frühen Aushärtestadium wesentlich höher als nach dem Abbinden des Betons. Wenn der Beton z. B. mit einem Werkzeug, das eine Mischung aus Staubsauger und Wasserstrahlschneider ist, bearbeitet wird, so muss nach Aushärtung der Matrix lediglich der Spannstahl getrennt werden. Bei einem Durchmesser des ‚Staubsaugerrohres' von ca. 4 cm sind die Fugen ausreichend breit, um einen Bolzenschneider für den Spannstahl einzusetzen.

Eine Handvoll Firmen bieten Spannbetonhohlplattendecken in Deutschland an. Diese Unternehmen sollten in Zukunft mit Hilfe des Produktdatenmodells in die Lage versetzt werden, die Arbeitsvorbereitung zu automatisieren. Entwicklungspotenzial steckt außerdem in den Bearbeitungswerkzeugen, weil Diamantkreissägen nur geradlinige Schnitte zulassen.

4.3.9 Vorfertigung Dach

In Betracht kommen folgende Dachkonstruktionen:

1. Holzdachstuhl,
2. Massivdach,
3. Dach aus Verbundwerkstoffplatten oder
4. Solardach.

Die Mehrzahl der Dächer wird hierzulande mit einem **Dachstuhl** vom Zimmermann realisiert. Vollautomatische Abbundanlagen fertigen Pfetten, Sparren, etc. Schalungen, Verkleidungen, Unterspannbahnen, Isolation, Dachlatten etc. werden handwerklich ausgeführt. Ähnlich wie bei der Fertigung von Holzdecken könnte auch mit Holzdächern verfahren werden. Eine Alternative ist die Dachvorfertigung in einem Fertighausbetrieb.

Schall- und klimatechnisch sind **Massivdächer** aus Porenbeton, Beton oder Ziegeln sehr günstig.

Das FZK-Haus sollte standardmäßig mit einer **innovativen Dachvariante** ausgestattet sein [UNI00, ISO00]. Der Wärmeschutz erfordert Dächer von erheblicher Dicke. Durch den flächigen Verbund von Abdeckplatten mit dem dazwischenliegenden Dämmmaterial lassen sich sehr tragfähige Systeme entwickeln, die einen Dachaufbau ohne Holzsparren zulassen. Die Platten können leicht mit Blech als Dacheindeckung belegt werden, aber auch Latten zum Einhängen von Dachziegeln können in der Vorfertigung aufgenagelt werden. Eine dritte Variante bei nicht zu steilen Dächern ist die Begrünung des Daches mit einer intensiven Dachbepflanzung. Auch dafür lassen sich alle Vorbereitungen in der Vorfertigung treffen.

Dachflächenfenster, versehen mit einem zur Verbundplatte passenden Einhängerahmen, sind problemlos einzubauen. Der sogenannte Wechsel in der Dachkonstruktion wird im Rahmen des Fensters realisiert.

Ein abgestimmtes Sortiment aus Gauben kann aus den Verbundplatten in mittleren Stückzahlen hergestellt werden. Extrawünsche werden aus automatisch geschnittenen Passteilen handwerklich vormontiert.

Wenn die Dachfläche zur Nutzung der Sonnenenergie in größerem Stil herangezogen wird, ist es konsequent die **Solarmodule** nicht auf das fertige Dach aufzumontieren, sondern sie wie die Verbundplatten als Dachkonstruktion zu nutzen [SET00b].

Die Nutzung von 3D-CAD und fotorealistischer Animation zusammen mit einer weitgehend automatisierten Fertigung erlaubt Dachformen, die gegenwärtig kaum realisierbar sind, weil sie nur mit extremem Aufwand zeichnerisch in 2D-Schnitten und Ansichten darstellbar wären und sehr viele Fehler in der Fertigung nach sich ziehen würden. Sofern der Bebauungsplan das zulässt, kann das FZK-Haus eine für die Sonnenenergienutzung optimal ausgerichtete Dachfläche aufweisen. Der Rest des Daches, der nicht in dem typischen Blau der Absorptionsfolie und der Solarzellen schimmert, kann von dieser Fläche abgesetzt werden und sich in eine andere Richtung neigen.

4.3.10 Stahlbauteile

Stahl erfüllt im Hausbau verschiedene Funktionen:

1. Als Armierungseisen in Beton nimmt es die Zugbelastungen auf.
2. Stahlträger werden als Stürze eingesetzt.
3. Stahlstützen übernehmen statische Funktionen.
4. Metallgerippe bilden häufig die Tragkonstruktion von großflächig verglasten Flächen, z. B. in Wintergärten.
5. Stahl wird zum Bau von Treppen genutzt.
6. Stahl ist ein gängiger Werkstoff für Geländer.
7. Zur Vermeidung von Wärmebrücken in den Decken werden Balkone immer öfter als vorgesetzte Stahlkonstruktion realisiert.

Im Bereich der Stahlverarbeitung existieren Automatisierungsansätze, die im Wohnungsbau jedoch keine Rolle spielen:

1. Automatische Stangenlager mit CNC gesteuerten Sägezentren sind lange bekannt [KAS00].
2. Schweißroboter produzieren ansehnlichere Schweißnähte als mancher Schlosser im Akkord.
3. In der Industrie werden sehr effektive Beschichtungsverfahren für Teile aus Stahlrohr eingesetzt.

Möglichkeiten zur Senkung der Lohnkosten in den Bauschlossereien bestehen an mehreren Stellen:

1. Mit dem gezielten Einkauf abgelängter, und wo erforderlich auf Gehrung gesägter, Stangenmaterialien wird Zeit gespart.
2. Die Bereitstellung von Vorrichtungen, z. B. für die Fertigung von Geländern aus vielen Einzelstäben, bringt eine Zeitersparnis. Dazu lassen sich passende Nuten in einen unbrennbaren Porenbetonstein fräsen, in welche die Stäbe zum Heften mit einem Schweißpunkt eingelegt werden.
3. Durch eine Sammlung industriell gefertigter Komponenten, wie beispielsweise schweißbaren Rohrverschlusskappen oder Befestigungsteilen für Treppenstufen, entfällt aufwändige Handarbeit.
4. Der Lackauftrag mit einer Spritzpistole ist dem Lackieren mit der Rolle oder dem Pinsel weit überlegen. Fertig lackierte Stahlteile müssen allerdings mit erhöhtem Aufwand transportiert und auf der Baustelle gegen Verschmutzung geschützt werden.

Weiteres Potenzial steckt selbstverständlich im Rückgriff auf Serienteile schon beim Entwurf des Hauses. Mittelfristig werden sich Schlossereien spezialisieren müssen, um kostengünstige Baugruppen anzubieten, die von anderen Schlossereien auf den Baustellen montiert werden.

4.3.11 Fabrik zur Wandfertigung

Der erste große Meilenstein des Projektes wird eine prototypisch realisierte, funktionierende Fabrik für die Herstellung von Wandelementen sein.

Die Fabrik ist gut überschaubar. Im Zweischichtbetrieb sollen täglich die Wände eines Hauses vorgefertigt werden. Auf das Jahr umgerechnet ergibt das eine Produktion von 200 Häusern; weniger als 1 Promille des Gesamtbauvolumens und weniger als 0,5 % des Bauvolumens von Porenbetonhäusern, deren Marktanteil bei ca. 18% liegt. Wird das Sparziel von ca. 100 TDM Lohnkosten pro Haus erreicht, addiert sich die Ersparnis auf 20 MioDM pro Jahr. Wird davon die Hälfte an die Bauherren weitergegeben, bleiben für die ersten beiden Jahre 20 MioDM. Davon kann rund die Hälfte - 10 MioDM - für Werbemaßnahmen ausgegeben werden. Der Rest amortisiert die Fabrik.

Zwei Doppelhäuser mit je 110 m² Wohnfläche plus Dachgeschossstudio auf einem Grundriss von 10 m x 11,5 m (s. Beispiel bei Spannbetonhohlplattendecke) werden aus etwa 300 Steinen errichtet, die zusammen fast 190 laufende Meter Wandfläche ergeben. Die doppelte Trennwand zwischen den Häusern ist dabei berücksichtigt. Tragende Innenwände werden nicht benötigt. Bei einer mittleren Durchlaufzeit von 3 Minuten je Stein bleiben bei 2 Schichten insgesamt eine Stunde für Pausen und Wartungsarbeiten. **3 Minuten pro Stein ist die Zielgröße** für die Fabrik.

Das grobe Fabriklayout zeigt Abb. 4.10. Vom Steinlager werden die Rohlinge auf Transportpaletten gelegt, auf denen sie die Fabrik liegend auf ergonomisch günstiger Arbeitshöhe durchlaufen. Nach einem ersten Puffer gelangen die Steine falls erforderlich in die Sägestation. Sofern nötig folgt die Fräsbearbeitung mit dem Roboter. Dann werden die Installationen montiert und Putz aufgebracht. Die Steine werden gedreht und durchlaufen Teile der Fabrik ein zweites Mal. Danach werden sie auf Trockengestelle umgestapelt, damit der dick aufgetragene Außengrundputz über Nacht trocknen kann. Die Steine werden sortiert auf einen LKW verladen und gelangen in der richtigen Reihenfolge auf die Baustelle. Die 100 Steine für ein Stockwerk des Muster-Doppelhauses wiegen ca. 30 Tonnen und ergeben genau eine Ladung auf dem Sattelschlepper.

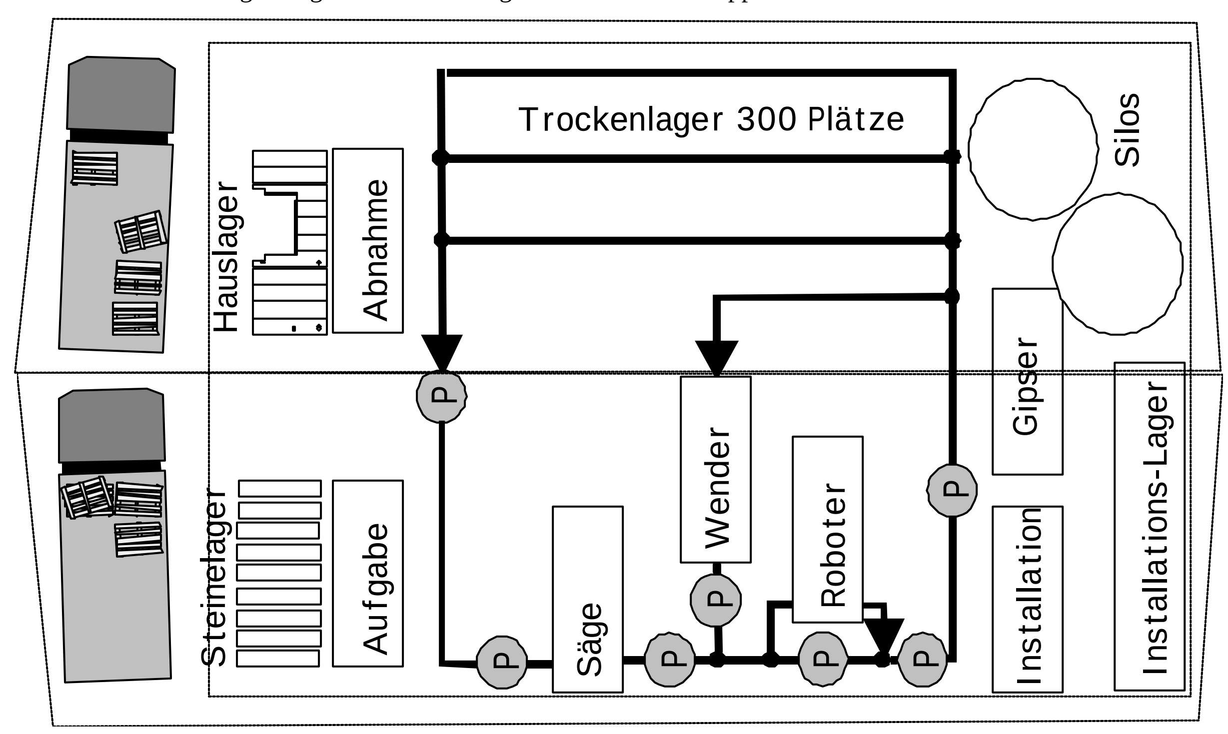


Abb. 4.10: Layout für die Fabrik zur Wandfertigung

Die 12 Fertigungsschritte zur Produktion eines Wandelementes wurden in Kap. 4.2.7 aufgezählt. Abb. 4.11 zeigt, welche Bearbeitungsaufgaben mit Säge und Fräsern an den Steinen zu erledigen sind.

Wenn es gelingt, die Zulassung für Steine ohne Transportbewehrung zu erhalten, dann sind leicht Schnittgeschwindigkeiten zu erreichen, die garantieren, dass die mittlere Bearbeitungszeit pro Stein nicht überschritten wird. Wegen der Größe und des Gewichts der Steine ist allerdings mit einer Nebenzeit in der Größenordnung von einer Minute für das Steinhandling zu rechnen.

Eine vorteilhafte Ausführung der Säge ist eine Seilsäge, weil damit sehr dicke Steine gesägt werden können und im Unterschied zu Bandsägen Richtungsänderungen problemlos ausgeführt werden können. Abb. 4.12 zeigt eine denkbare Verteilung der Freiheitsgrade der Säge.

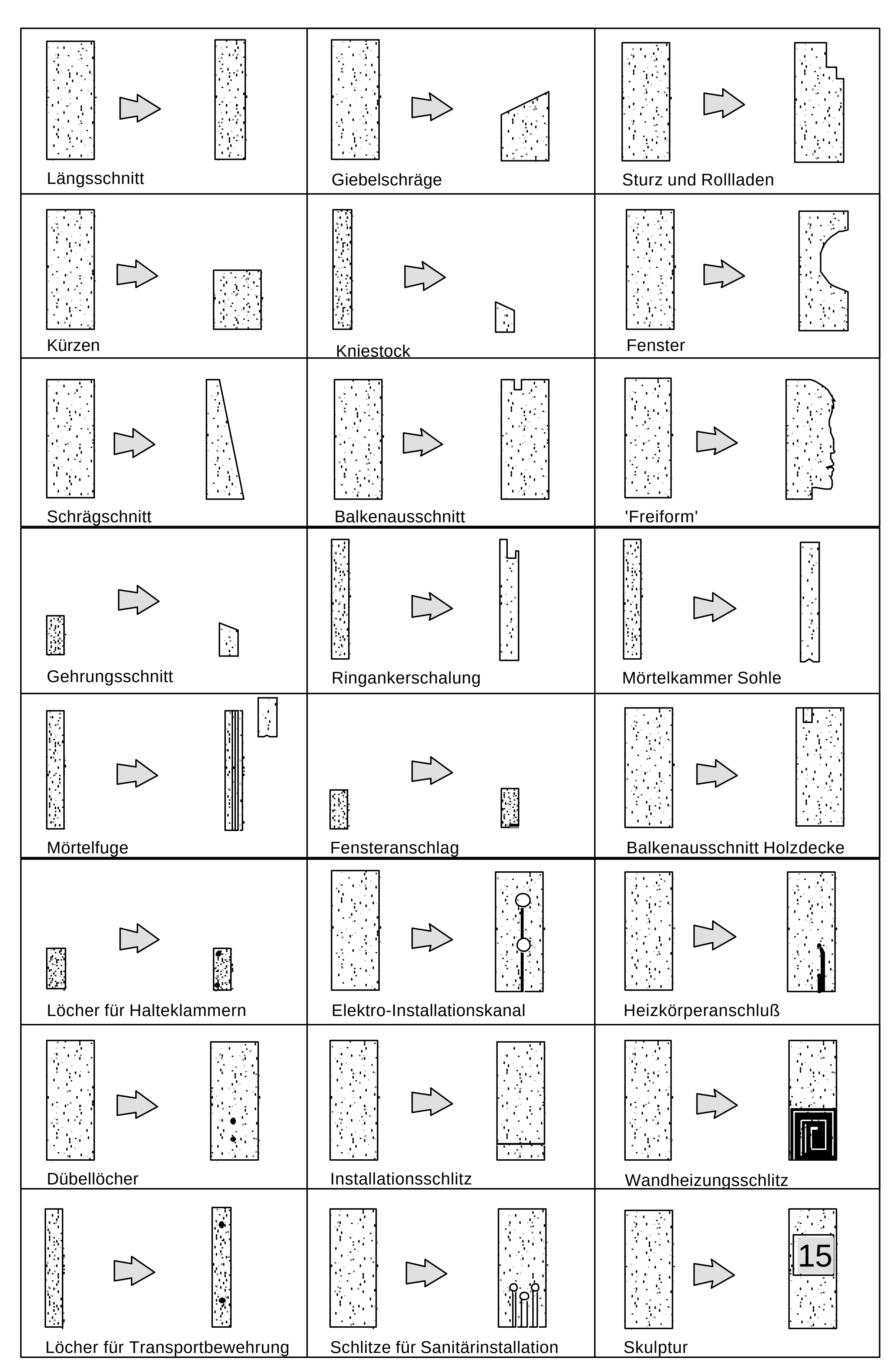


Abb. 4.11: Säge- und Fräsarbeiten an den Wandelementen

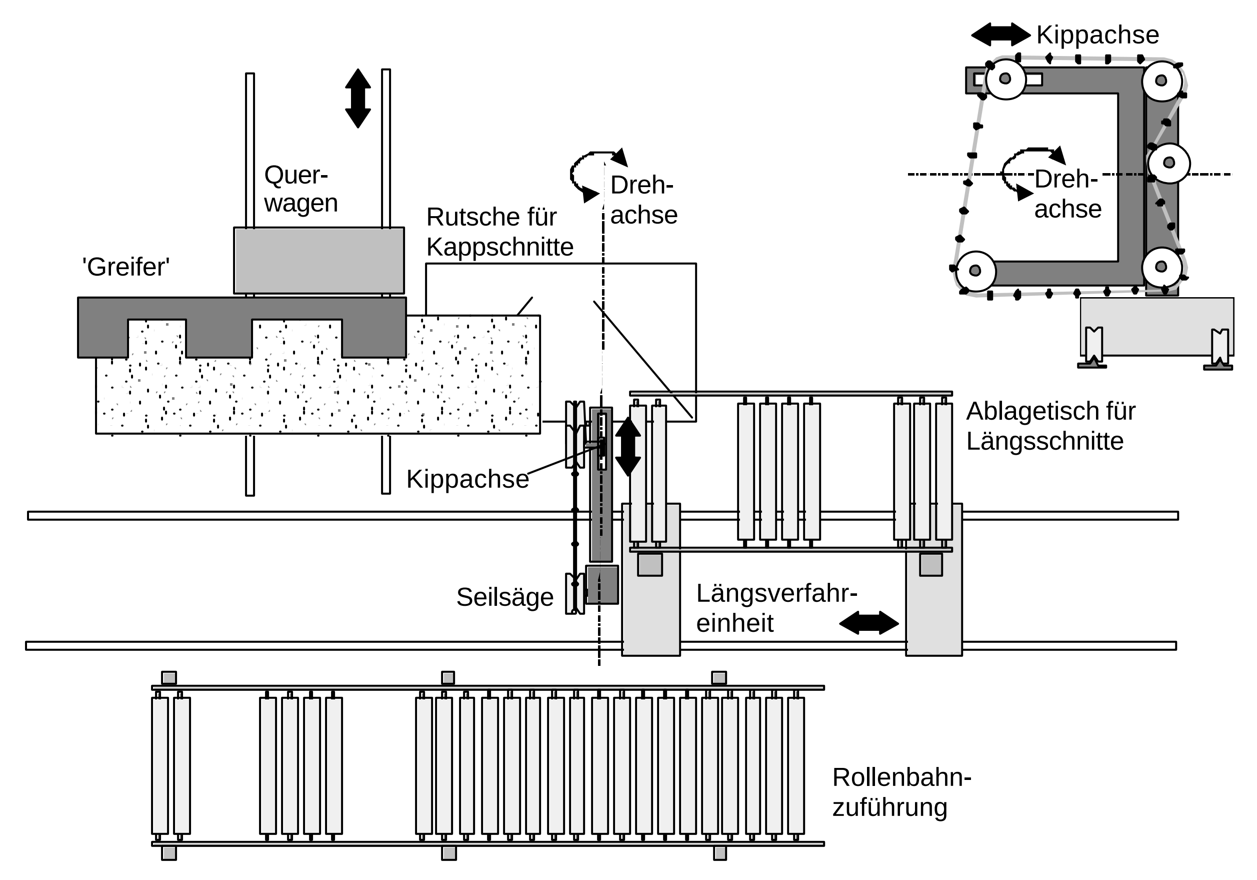


Abb. 4.12: Konzept für die Steinsäge

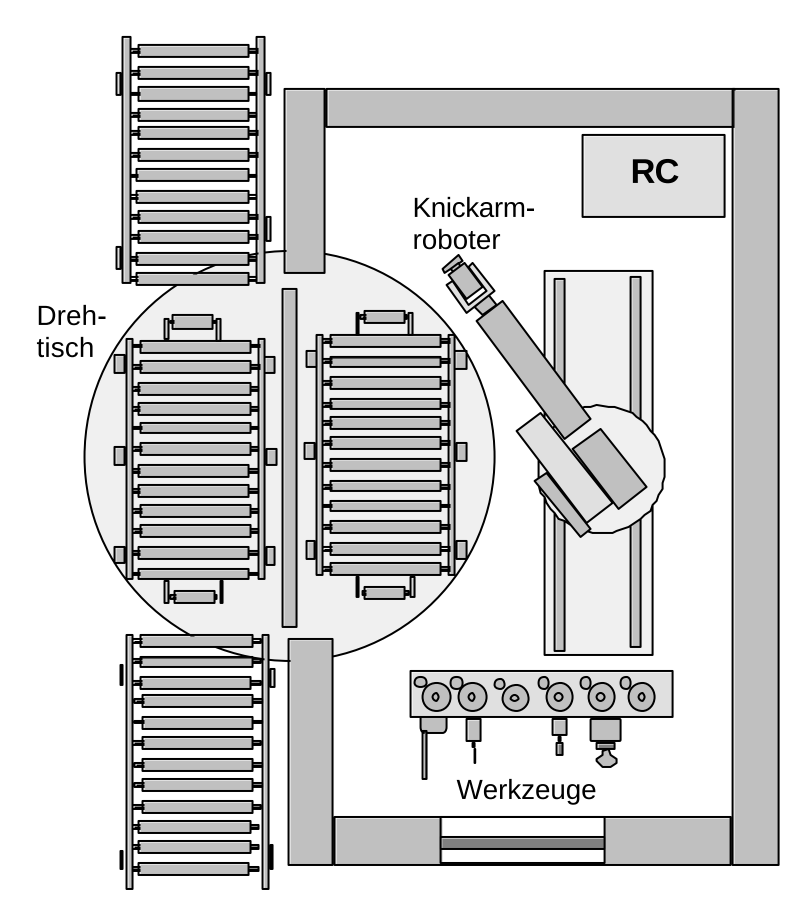


Abb. 4.13: Roboterzelle für die Fräsarbeiten

Die Roboterstation (s. Abb. 4.13) stellt den zeitlichen Engpass dar. Jeder Stein muss auf allen vier Schmalseiten für die Mörtelfugen und den Ringanker genutet werden. Dazu muss er aber in die Roboterzelle hinein und wieder hinausgelangen. Elektroinstallationskanäle werden mit einem anderen Werkzeug gefräst, was einen zeitlich aufwändigen Werkzeugwechsel erfordert. Tabelle 4.4 zeigt eine Zeitreserve von ca. 10 Sekunden pro Stein. Sofern nur etwa jeder dritte Stein auch auf der Rückseite eine Installation erhält, genügt ein Roboter. Fehlen im Mittel nur wenige Sekunden, so lassen sich die Mörtelfugen auf den Längsseiten mit einfachen Maschinen und Vorrichtungen an den Transportstrecken anbringen. Ist die Säge nicht ausgelastet und der Markt für die Häuser vorhanden, lohnt sich eine zweite Roboterstation.

Steinzuführung	20 sec
Mörtelfuge fräsen 5,8 m x 0,2 m/sec	29 sec
Ringankerschalung fräsen 0,6 m x 0,2 m/sec	3 sec
Werkzeugwechsel	20 sec
E-Installationskanal fräsen 1,2 m x 0,2 m/sec	6 sec
S	**78 sec**
Rest-Taktzeit pro Stein	12 sec
Steinzuführung	20 sec
E-Installationskanal fräsen 1,2 m x 0,2 m/sec	6 sec
S	**26 sec**

Tab. 4.4: Zeitbedarf der Roboterstation (Taktzeit 90 sec)

Arbeiten zwei Fachkräfte bei der Montage der Installationen und dem Auftrag des Putzes Hand in Hand hinter einem Puffer, der sie vom Maschinentakt entkoppelt, so bleibt ihnen Zeit, gelegentliche Störungen der Anlage zu beseitigen oder andere Nebentätigkeiten zu verrichten.

Das Wenden der Steine und das Umpalettieren im Zeittakt stellt kein Problem dar. Um den Puffer vor dem Wender klein halten zu können, ist ein schnell trocknender Innenputz auf Gipsbasis vorzusehen.

In Tabelle 4.5 ist eine Kostenschätzung für die Fabrik dargestellt, die deutliche Reserven beinhaltet.

Gebäude	1000 m² x 2000 DM/m²	2000 TDM
Roboterzelle	Roboter 100 TDM Werkzeuge 100 TDM Einhausung 100 TDM Aufspannung 100 TDM	400 TDM
2. Roboterzelle	s.o.	400 TDM
Säge	Maschine 500 TDM Einhausung 100 TDM	600 TDM
Wender		100 TDM
Abstapler		100 TDM
Trocknung		300 TDM
Kräne	Manipulator mit Vakuumgreifer 30 TDM Stapler 30 TDM Sonstiges 40 TDM	100 TDM
Handarbeitsplätze		100 TDM
Fördereinrichtungen	50 Fertigungspaletten à 2000 DM = 100 TDM 50 Trockenregale à 3000 DM = 150 TDM 400 m Förderstrecke à 500 DM/m = 200 TDM	450 TDM
Leittechnik	- als Platzhalter -	1000 TDM
Sonstiges		1000 TDM
Zwischensumme		*6650 TDM*
Kapitalkosten	Ca. 15% innerhalb von 2 Jahren Amortisationszeit	1000 TDM
Entwicklungskosten	- evtl. in Verbindung mit Verbundprojekt -	2500 TDM
S		**Ca. 10 MioDM**

Tab. 4.5: Kostenschätzung für die Fabrik

Die Fabrik wird pro Schicht von 4 Mitarbeitern betrieben. Dazu kommt ein technischer Leiter, der auch für die Arbeitsvorbereitung zuständig ist, und ein Kaufmann. 8 Manntage Facharbeiter (89 DM/h) plus 2 Manntage Büroarbeiter (110 DM/h) ergeben 6880 DM Lohnkosten für die Vorfertigung der Wände eines Hauses.

4.3.12 Rohbaumontage

Ein typisches Szenario wird sein: Baugrundstück am Hang nicht größer als 250 m². Erschlossen durch eine enge Straße. Der Autokran, der auf einem ‚normalen' LKW montiert ist, versperrt die Straße zur Hälfte. Bestenfalls ein PKW kommt noch vorbei. Die LKW mit den Wand- und Deckenelementen müssen nach dem Abladen rückwärts aus der Straße zurückstoßen. Es ist daher anzustreben, mit möglichst kleinem Gerät und nicht zu großen LKW zu arbeiten

Auch für vorgefertigte Häuser muss eine örtliche Baufirma die Baugrube ausheben, die Installationsleitungen auf dem Grundstück verlegen und eine Bodenplatte evtl. mit Streifenfundamenten gießen. Diese Arbeiten dauern ca. 1 Woche. Danach dauert die Erstellung des Rohbaus wie Tabelle 4.6 zeigt noch 2 Wochen.

Örtliche Baufirma		
1. Woche	1. Tag	Baugrube ausheben
	2. Tag	Hausanschlüsse verlegen
	3. Tag	Schnurgerüst bauen, evtl. Fundamente ausheben, Sauberkeitsschicht
	4. Tag	Bodenplatte abschalen, Stahlbewehrung einlegen
	5. Tag	Bodenplatte gießen
Rohbauteam: 1 Vorarbeiter, 1 Kranführer, LKW-Fahrer als Helfer, zeitweise Architekt		
2. Woche	6. Tag	Kranaufbau, Aufriss festlegen, Feuchtigkeitssperre verlegen
	7. Tag	Kellerwände aufstellen
	8. Tag	Decke auf Kellergeschoss verlegen, Kellertreppe montieren
	9. Tag	Aufriss festlegen, Erdgeschosswände aufstellen.
	10. Tag	Gerüst aufbauen, Decke auf Erdgeschoss verlegen
3. Woche	11. Tag	Aufriss festlegen, Obergeschosswände aufstellen
	12. Tag	Gerüst erhöhen, Decke auf OG verlegen
	13. Tag	Giebelwände und Kniestock aufstellen, Gerüst erhöhen
	14. Tag	Dach verlegen
	15. Tag	Dach eindecken

Tab. 4.6: Zeitbedarf für den Rohbau

Sollen 2 Mann unterstützt vom LKW-Fahrer in 7 Stunden einer 8 h Schicht die 100 Steine des Muster-Doppelhauses aufstellen, so bleiben ihnen 4,2 Minuten pro Stein. Diese Zeit verteilt sich auf 5 Arbeitsschritte wie in Tabelle 4.7 dargestellt.

Aufriss (Vorarbeit)	0,5 min
Stein aufnehmen	0,5 min
Kranspiel (Geschoss – LKW – Geschoss)	1 min
Setzen des Steins	1 min
Vermörteln (vor Feierabend)	1 min

Tab. 4.7: Zeitbedarf für das Versetzen eines Steines

Sinnvollerweise werden die Steine trocken auf Unterlagen gesetzt, die sie in die richtige Höhe bringen und auf der Oberseite durch einen Haltebügel verspannt. Dadurch entfallen Nebenzeiten für das Mischen von kleinen Portionen Mörtel. Die Versetzgeräte kommen nicht mit Mörtel in Berührung und verschmutzen daher nicht. Der entscheidende Vorteil besteht aber darin, dass durch die Mörtelverpressung in alle Nuten eine absolut dichte Gebäudehülle entsteht. Beim Füllen der Mörtelnuten vor Feierabend wird gleichzeitig der Ringanker auf der Mauerkrone vergossen.

Eine Maxime der Hausmontage ist die, möglichst alle Transporttätigkeiten vom Kran oder von einer Pumpe ausführen zu lassen. Das bedeutet, dass vor Montage der Decke alle Werkstoffe in die Geschosse abgestellt werden. Materialien, die vor der Einbringung des Estrichs verarbeitet werden können, wie Fenster, Türen, Heizkörper, Sanitärausstattung, Wandfliesen etc. werden ohne Palette auf den Rohboden abgestellt. Werkstoffe wie Farben, Tapeten, Bodenfliesen oder Parkett, werden auf Paletten geliefert, die mit ‚Tischbeinen' erhöht aufgestellt werden. Die Estrich-kompatiblen ‚Tischbeine' werden nach Trocknung des Estrich einfach bündig abgesägt. Durch die erhöhte Aufstellung ist der Verguss des Fließestrichs unter den Paletten kein Problem. Dieser Grundsatz bedeutet auch, dass z. B. kein Materialüberschuss geliefert werden darf, der zu einem späteren Zeitpunkt wieder aus der Baustelle herausgetragen werden muss. Möglich wird dieser Workflow nur, wen der Bauherr schon am virtuellen Hausmodell alle Entscheidungen getroffen hat und die Ausbauteile rechtzeitig (just in time) geliefert werden. Eine Stunde der 8h Schicht ist für das Abstellen der Trennwände und der Paletten mit dem Ausbaumaterial auf der Geschossdecke reserviert.

4.3.13 Ausbau

Wesentliche Teile des Ausbaus werden schon in der Vorfertigung erledigt. Da keine Schlitze aufzustemmen sind und die Ausbaumaterialien schon zurechtgeschnitten geliefert werden, fällt kaum Schmutz und Abfall an, der zu beseitigen wäre.

Viel Geld wird dadurch gespart, dass jedes Gewerk eine komplette Stückliste erhält und daher keinen Grund hat, Material zu vergessen, das nur sehr umständlich nachgeliefert werden kann. Elektroverteilerkästen oder Heizungs- und Wasserverteilungen können in einer ordentlich eingerichteten Werkstatt schneller und preisgünstiger montiert werden, als unter den chaotischen Bedingungen einer Baustelle.

In Zeiten, da ‚Do it yourself' suggeriert, dass Laien alle Baugewerke selbständig meistern können, sollte es machbar sein, auf Baustellen fachübergreifende Handwerkerteams zu bilden. Ein Team aus Sanitärinstallateur oder Heizungsbauer und einem Elektriker sollte es gemeinsam schaffen, alle Leitungen anzuschließen. Außerdem ist dem Team zuzutrauen und zuzumuten, die Fenster einzusetzen und Fensterbänke zu montieren.

Mit diesen Optimierungsansätzen in der Organisation des Workflow ist ein Zeitplan wie in Tabelle 4.8 gelistet realisierbar ohne die Notwendigkeit, grundsätzlich neue technische Verfahren zu entwickeln. Dabei sind manche Grenzen, z. B. zwischen Fliesenleger (Bodenfliesen) und Schreiner (Parkett), fließend.

Schlosser: 1 Schlosser, 1 Blechner		
4. Woche	16. Tag	Blecharbeiten an der Dacheindeckung
	17. Tag	Geländer, Treppen, Deckenabschlüsse
	18. Tag	Balkone
Installateure: 1 Sanitärinstallateur, 1 Elektriker		
4. Woche	16. Tag	Fenster und Fensterbänke einbauen
	17. Tag	Abwasserleitungen, Lüftungsleitungen, Zentralstaubsauger-Rohre anschließen
	18. Tag	Sanitärinstallation
	19. Tag	Heizungsinstallation
	20. Tag	Elektroinstallation
Gipser: 2 Facharbeiter		
5. Woche	21. Tag	Kelleraußenwände isolieren
	22. Tag	Außenputz ergänzen
	23. Tag	Innenputz fertig spachteln
	24. Tag	Estrich gießen
	25. Tag	Außenputz fertig machen
6. Woche		Trocknungsperiode für Estrich Außenanlagen durch örtliche Firmen
7. Woche		
8. Woche		
Fliesenleger: 2 Facharbeiter		
9. Woche	26. Tag	Wandfliesen in der Küche
	27. Tag	Wandfliesen im Bad
	28. Tag	Wandfliesen im WC
	29. Tag	Eingangsbereich außen verfliesen
	30. Tag	Bodenfliesen in Bad und WC
Maler: 1 Maler, 1 Tapezierer		
9. Woche	26. Tag	Außenanstrich
	27. Tag	Tapezieren
	28. Tag	Tapezieren
	29. Tag	Innenanstrich
	30. Tag	Innenanstrich
Fliesenleger: 1 Facharbeiter		
10. Woche	31. Tag	Bodenfliesen Küche
	32. Tag	Andere Böden
	33. Tag	Andere Böden
	34. Tag	Verfugen
	35. Tag	Verfugen

Schreiner: 1 Schreiner, 1 Helfer		
10. Woche	31. Tag	Teppichböden verlegen
	32. Tag	Parkett verlegen
	33. Tag	Parkett verlegen
	34. Tag	Türen einbauen
	35. Tag	Fußleisten setzen
Installateure: 1 Sanitärinstallateur, 1 Elektriker		
10. Woche	31. Tag	Elektroinstallation fertig machen
	32. Tag	Heizkörper aufhängen und anschließen
	33. Tag	Sanitärobjekte aufhängen, anschließen und mit Silikon verfugen
11. Woche	**Einzug**	

Tab. 4.8: Zeitbedarf und Reihenfolge des Innenausbaus

10 Wochen nach Aushub der Baugrube ist Einzugstermin. Dabei hatte der Estrich ca. 5 Wochen Zeit auszutrocknen. Dieser Zeitraum könnte durch Trockenestrich verkürzt werden mit dem Nachteil, dass Trockenestrich-Platten lohnintensiver verlegt werden müssen als selbstnivellierender Fließestrich. Die Qualität von Nassestrich ist zumindest unter einem Fliesenbelag besser. Nassestrich ist die gängige Baumethode. Die Wartezeit hat daneben eine Pufferfunktion. Falls z. B. wetterbedingt der Rohbau verzögert wird, kann – falls nötig durch Heizung – die Trocknungsphase verkürzt und der Einzugstermin gehalten werden. Eine alte Bauregel empfiehlt, einen Rohbau über Winter austrocknen zu lassen. Obwohl aus dem FZK-Haus weniger Wasser verdunsten muss als aus herkömmlich gebauten Häusern, empfiehlt es sich eine Trockenzeit vor dem Einzug einzuhalten.

4.3.14 Kostenvergleiche

Logischerweise können zu Beginn einer neuen Entwicklung nicht alle Details überblickt werden. Exakte Zahlen über den Zeitbedarf einzelner Gewerke sind nur anzugeben, wenn das Arbeitsvolumen für die Gewerke genau spezifiziert ist und Messungen unter realen Umgebungsbedingungen stattgefunden haben, die als Grundlage für Vorgabezeiten taugen.

Auf Grundlage der Ausführungen in den Kapiteln 4.2.11 bis 4.2.13 kann jedoch eine erste Überschlagsrechnung aufgestellt werden (s. Tabelle 4.9), die das Sparziel erreichbar erscheinen lässt.

2 Doppelhäuser á 110m² Wohnfläche à 2000 DM	440 000 DM
Lohnkostenanteil bei herkömmlicher Bauweise 40 %	176 000 DM
Lohnkosten Vorfertigung	6880 DM
Lohnkosten Baustelle 19,4 Mannwochen à 45 h à 80 DM*	69840 DM
Summe	76720 DM
Ersparnis	**99280 DM**

* 9. Stunde für Reisezeiten und als Reserve

Tab. 4.9: Kostenvergleich zwischen konventionellem Haus und FZK-Haus

Die meisten Bauherren müssen ihr Haus mit Hypothekendarlehen finanzieren. Eine Baukostenersparnis von 100 TDM hat erheblichen Einfluss auf die Gesamtkostensituation. In Tabelle 4.10 wird deutlich wie viel zusätzlich in eine Baumaßnahme investiertes Geld am Ende wirklich kostet – ein deutlicher Anreiz zu sparen! Die Summe verdoppelt sich etwa durch die Finanzierung, wenn 2% Anfangstilgung (ergibt etwa 20 Jahre Laufzeit) erbracht werden können. Kann ein Bauherr die Belastung des unverbilligten Hauses tragen, so sinkt seine Zahlungsverpflichtung von 30 Jahren auf weniger als 20 Jahre. Die Gesamtkosten reduzieren sich dabei um mehr als den ursprünglichen Kaufpreis des Hauses!

	Kaufpreis 440 000 DM		Kaufpreis 340 720 DM
20 Jahre Laufzeit - 6% Zins	3110,80 DM/m 746 592,00 DM	↱	2408,90 DM/m 578 133,70 DM
30 Jahre Laufzeit - 6% Zins	2591,60 DM/m 932 976,00 DM	↑ ↲	2006,84 DM/m 722 462,69 DM
20 Jahre Laufzeit - 7,5% Zins	3476,00 DM/m 834 240,00 DM		2691,69 DM/m 646 005,12 DM
30 Jahre Laufzeit - 7,5% Zins	3000,80 DM/m 1 080 288,00 DM		2330,52 DM/m 838 988,93 DM

Tab. 4.10: Finanzierungskosten im Vergleich

4.4 Hausautomatisierung

4.4.1 Realisierung eines SmartHome

Um zu einem SmartHome zu gelangen, vernetzt man Geräte im Haus. Unterschiedliche Anforderungen an Bandbreite führen zu verschiedenen Netzwerken im Haus. Diese werden über Gateways gekoppelt. Durch Zugangstechnologien erreicht man die Anbindung dieser Netze an das Internet und Unterhaltungsmedien. Auch mobile Geräte der Bewohner erhalten Zugriff. In den Gateways muss eine gegenseitige Protokollabbildung der angeschlossenen Netzwerke erfolgen. Das SmartHome bildet dann einen Pool von Geräten, Diensten und Ressourcen.

Die Interaktion der Bewohner erfolgt nicht mehr mit den Geräten direkt, sondern über eine Schnittstelle mit einer Netzwerkverbindung zum SmartHome. Auch die Telekommunikation der Bewohner untereinander lässt sich in ein SmartHome integrieren. Um den verschiedenen Anforderungen der Bedienung und Vorlieben der Bewohner braucht man die Möglichkeit verschiedene, multimodale Schnittstellen benutzen zu können.

Die außerordentliche Vielfalt von Problemen mit Netzwerken, Protokollen, und Geräten haben in der Vergangenheit u.a. zu folgenden verschiedenen Forschungsvorhaben geführt:

- Vorbereitende Forschungen des ESPRIT- Programms haben in dem Bereich Gerätesteuerungen zum EHS-Standard geführt [TID00, DIC96, CAB97].
- Im Bereich HVAC gibt es Vorlaufforschung zur Ressourcenschonung [VIM98].
- Es existiert eine Vielzahl zu Demonstrationszwecken ausgebaute Häuser in denen die verschiedensten Techniken getestet werden [REW98, TUB00, IMS00, FOC00].

Wie in Kapitel 3.3 dargestellt, gibt es heute eine Vielzahl von Lösungen für SmartHome-Komponenten. Es gibt für alle Anwendungsbereiche Geräte (s. Kap. 3.3.2), die sich an Netzwerken mit normierten Protokollen anschließen lassen, oder es zeichnen sich Produkte ab. Damit die Geräte an Netzwerken kommunizieren, brauchen sie Embedded-Systeme unterschiedlicher „Intelligenz“. Informationstechnisch betrachtet stellt das SmartHome ein verteiltes Betriebssystem dar, dass aus heterogenen Komponenten besteht und die über Netzwerke unterschiedlicher Geschwindigkeit vernetzt sind. Wie in Kapitel 3.3.4.4 ausgeführt, gibt es verschiedene Gründe, weshalb die meisten Geräte per Hot-Plug&Play von den Benutzern selbst hinzugefügt und gewartet werden sollen.

Um in dem Geräte-Pool eine homogener Darstellung aller Geräte, Dienste und Ressourcen zu erreichen, muss die Software der Gateways weiterentwickelt werden. Sollen in den Gateways nicht nur Daten transportieren werden (ISO-OSI-Transportlayer), sondern eine Abbildung von Geräten und Managementfunktionen eines Netzwerkes erfolgen, sind neue Dienste und Applikationsschichten (ISO-OSI-Session und Applicationlayer) nötig. Hierzu zählen auch Zugriffsrechte und Sicherheitsbeschränkungen für verschiedene Komponenten und Ressourcen. Erst wenn man auf dieser Schicht netzwerkübergreifend Zugang schafft, kann man Zugriffsrechte einen zentralen Datenbank organisieren.

In folgenden Punkten gibt es Potential für Forschung und Entwicklung:

- homogene Abbildung beliebiger Endgeräte an unterschiedlichen Netzen,
- Dienste mit Netzwerkmanagement Funktionalität,
- Zugriffsrechte zentral verwalten und Sichtbarkeiten dezentral in den Zugängen der Netzwerke organisieren.

Um weitere Synergien aus der Vernetzung eines SmartHome zu nutzen, müssen sich automatisierte, logische und zeitliche Abläufe erstellen lassen. Auch Zustände, die das ganze Haus betreffen, sollten definiert werden können und einfach wartbar sein. Diese Szenariensteuerungen gibt es bisher nur in Ansätzen (siehe Kap. 3.3.3.5) oder als Insellösungen von einzelnen Herstellern. Durch die Protokolle lassen sich einzelne Ereignisse gut auslösen, ganze Szenarien und Modi werden bisher aber nicht systemweit unterstützt.

Es sind somit in folgenden Punkten Forschung und Entwicklungen nötig:

- Verwaltung von systemweiten zeitlichen Ablauf- und Szenariensteuerungen und
- Strukturierung und Blockbildung von Kommandos zu einer Steuerung mit Modi.

Bei den letzten Punkten lässt sich die Schwierigkeit der einfachen Handhabung komplexer Vorgänge und damit der große Entwicklungsbedarf von multimodalen Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMI) eines SmartHome erahnen.

4.4.2 Benutzerfreundliches SmartHome

Ziel ist es, die technischen Einrichtungen und Geräte einer Wohnumgebung durch ein einheitliches, nutzerfreundliches Bediensystem und die Automatisierung souverän zu beherrschen, um mit ihnen eine den Bedürfnissen angepasste Funktionalität zu realisieren, das Energie- und Sicherheitsmanagement zu verbessern sowie Routineaufgaben zu erleichtern.

Da die Zielgruppen aus allen Bevölkerungsteilen stammen und auch die einzelnen Bewohner selbst unterschiedlichste Geräte bevorzugen, sind meist mehrere multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen im Einsatz. Das Anpassen der Technikpräsenz an die Wünsche der Bewohner, kann die Vorraussetzung dafür sein, dass ein höheres Maß an Technik im SmartHome akzeptiert wird. Durch Sprache, als dem natürlichsten Kommunikationsmittel, kann mit Spracherkennungssystemen besonders gut eine breite Akzeptanz erreicht werden. Den realisierten Spracherkennungen fehlt meist das benutzerunabhängige Erkennen von Kommandos und den höheren Protokoll-Schichten fehlt die Unterstützung der Sprachsteuerung. Sie sind meist grafikorientiert (s. Kap. 3.3.4.2).

Für multimodale HMI sind in folgenden Punkten Forschung und Entwicklungen anzustreben:

- Protokollschichten, die Spracheingabe, Gestik und Dialogsystematiken unterstützen,
- Konzepte für „wearable devices“ als Zugangsgeräte zum SmartHome, die nicht stören und deshalb immer getragen werden können,
- Unterstützung räumlichen Ortidentifikation mit netzwerkweiter Protokollunterstützung, d. h. Steuerung von ortsabhängige Kommandos und automatischen Abläufen (z. B. Beleuchtungssteuerung).

Anpassungen an die Gewohnheiten von Bewohnern haben das Ziel, den Komfort und das Wohlfühlen in einem SmartHome zu steigern. Dazu muss man Benutzer identifizieren und die Häufigkeit ihrer Aktionen auswerten. Im einfachsten Fall können dann die Sichtbarkeit von Funktionalitäten oder die Reihenfolgen von Listen angepasst werden.

Um individuelle Benutzerzugänge zu forcieren und auszubauen sind folgende Entwicklungen zweckmäßig:

- benutzerabhängige Zugriffmöglichkeiten,
- Konzepte zur Benutzeridentifikation bei multimodalen Systemen,
- Konzepte zur Adaption an individuelle Benutzergewohnheiten,
- ein sehr stark skalierbares System,
- Hot-Plug&Play neuer Geräte,
- Synergieeffekte und neue Funktionalitäten durch Kombination „Alles mit Allem“.

Zur Lösung von Benutzerführungen für komplizierte Vorgänge eigenen sich die Konzepte für Assistenzprogramme. Möchte man die Benutzerführung noch weiter ausbauen, braucht man einen aktiven Part. Wünschenswert wäre eine „Hausfee“- oder ein „Butler“-Programm, das als aktiver Assistent agiert, sich durch Lernen an die Benutzer anpasst und dabei die Möglichkeiten des jeweiligen SmartHome und SmartHome-Managers optimal unterstützt.

Für eine intelligente Benutzerführung sind in folgenden Punkten Forschung und Entwicklungen interessant:

- Konzept zur Benutzerführung bei der Bedienung und Einstellung von Geräten und Abläufen,
- aktives SmartHome-Assistentenprogramm, das lernt und selbstständig agiert.

4.4.3 Generationengerechtes SmartHome

Um für ältere Menschen ein längeres Verbleiben in der eigenen Wohnung durch alters- und bedürfnisgerechte Anpassung der Wohnumgebung zu erreichen, sind die Grundausstattungen eines SmartHome hervorragend geeignet. Im HomeCare-Bereich (s. Kap. 3.3.2.6), der besonders für Deutschland mit seiner Alterstruktur interessant ist, gibt es eine Vielzahl von Ansätzen von Soft- und Hardware für eine Unterstützung von Arztpraxen und Pflegedienstleistungsunternehmen. Man kann z. B. durch das Sammeln von medizinischen Messwerten und die Kommunikation mit den Patienten zuhause neue Möglichkeiten für ärztliche Diagnosen und Behandlungen schaffen. Auch die für Familien mit Kinder nützlichen benutzerabhängigen Zugriffsbeschränkungen (s. auch Kap. 4.4.1), sind hier hilfreich.

Generationengerechtes Wohnen wird durch folgende Entwicklungen gefördert:

- Unterstützung von mobilen und festinstallierten Geräten zur medizinischen Datenerfassung.
- Integration von Pflegedienstmaßnahmen in ein SmartHome.

4.4.4 Ressourcenschonendes SmartHome

In dem Bereich HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) gibt es, wie in Kapitel 3.3.2.1 dargestellt, Reserven in der Ressourcenausnützung, die mit einem SmartHome ausgeschöpft werden können. Weitergehende Konzepte zur Optimierung mit Steuerungs- und Regelungsansätzen sollen hier nicht weiter ausgeführt werden.

Für ein ressourcenschonendes Wirtschaften mit einem SmartHome sind nachstehende Forschungen und Entwicklungen nützlich:

- Erleichterung des Raumklimamanagements für Bewohner von Niedrigenergie - und Passivhäusern,
- optimierte Regelungsansätze durch Integration von Wetterinformationen.

4.4.5 Ganzheitliches SmartHome

Die auf dem Markt erhältlichen Lösungen aus dem Gebäudemanagement sind in Bezug auf Planung, Produktdatenintegration, Gerätesteuerungen und Fernwartung auf ein SmartHome kaum adaptierbar. Denn dort wurden Servicetechniker und Fachpersonal zur Betreuung, Installation und Wartung von Anfang an vorrausgesetzt und in die jeweiligen Systemkonzepte integriert (s. Kap. 3.3.6.2). Bislang ist auch eine konsistente Datenhaltung von persönlichen und produktbezogenen Daten ungelöst. Verknüpft man aber Teile der Daten aus der Planungsphase des SmartHome, zum Beispiel das 3D-Modell, mit anderen aus der Nutzungsphase, so ergibt das einen Mehrwert, der bei vielen Änderungen im Haus Vorteile bietet. Als ersten Schritt kann man im SmartHome bestimmte Daten der Netzwerke nur mithören, sammeln und in einer Produktdatenbank zusammenführen.

Für ein Management von verknüpften Bewohner- und Produktdaten sind die nachfolgenden Entwicklungsschritte Vorraussetzung:

- Konzept für ein universelles Kommunikationsprotokoll bzw. Schnittstellen zu Bussystemen zur Erfassung von Daten,
- homogene Abbildung von Geräten und Organisationseinheiten durch ganzheitliches Produktdatenmanagement,
- Produktdatenbank als offenes System zur Integration vielfältigster Geräte unterschiedlicher Hersteller und Bussystemparameter,
- universeller Zugang zur Produktdatenbank über einen Webserver.

4.4.6 Universeller Lösungsansatz

Nimmt man ein erweitertes Konzept von Softwareagenten, kann man die meisten Ziele von Kapitel 4.4.1 bis 4.4.5 realisieren. Der Softwareagent bildet die Kommunikation zu einer bestimmten Komponente bzw. Gerät ab. Man definiert also ein Protokoll, mit dem man die inneren Strukturen, Ressourcen über den Agenten abfragen kann. Der Agent soll für verschiedene multimodale Anfragen jeweils die passenden Daten liefern. So ist es denkbar, dass Sprachsteuerungen, grafikfähige und textorientierte Zugangsmedien dieselben Zugriffsmöglichkeiten erhalten. Es ließe sich auch eine mehrsprachige Unterstützung einbauen. Zusätzlich kann man sich auch die Integration eines Hilfesystems vorstellen. Hat man mehrere Ein/Ausgabemöglichkeiten, so kann man die Nachrichten der Frage/Antwortdialoge über mehrere Agenten und Kanäle wahlweise ausgeben bzw. aufnehmen. So kann man die Textdialoge an einer Konsole auch an den Agenten der Stereoanlage zur Ausgabe weitergeben.

Mit passiven Agenten zur Benutzerführung, z. B. für Parametereingaben, lassen sich die Anforderungen aus Kapitel 4.4.2 realisieren. Und aus Kapitel 4.4.5 wird ersichtlich, dass man für das Zusammenführen von Online-Daten mit den Produktdatenarchiven, Zugänge zu verschiedenen Netzwerken und Geräten braucht. Mit einer eigenen Protokollschicht und Softwareagenten lässt sich auch diese Problematik elegant lösen.

Die Vorteile eines verteilten Agentensystem für ein SmartHome:

- Jedes Gerät stellt eine Struktur seiner Funktionalität mit integriertem Handbuch zur Verfügung
  ⇒ Simplifikation: Mit den gleichen und wenigen Befehlen lässt sich jedes Gerät sofort handhaben,

- Jedes Gerät wird über **einen Agenten** mit einem einheitlichen Protokoll angesprochen
  ⇒ Jedes Eingabegerät mit einer gewissen Minimalfunktionalität kann ein beliebiges Gerät bedienen,

- Embedded-Systeme an unterschiedlichen Netzwerken lösen Aufgaben miteinander und selbstständig
  Þ **verteiltes Agentensystem**,

- Agenten managen Zugriffsrechte und Sichtbarkeiten durch ihre Fähigkeit zu Geräteabbildungen
  ⇒ Eingeschränkte Sichtbarkeit und Zugriffsmöglichkeiten gestatten Kapselung und Sicherheit,

- die für die Agenten verwendeten Protokolle bleiben vorhanden
  ⇒ abwärtskompatibel,

- Agenten erhalten einen besonderen Protokollmodus für Softwareupdate-Dienste
  ⇒ Fernwartung des Agentensystems.

Um die Punkte von Kapitel 4.4.1 bis 4.4.6 praktisch zu realisieren, braucht man Schnittstellen zu Bussystemen, Massenspeicher, Treibersoftware für Protokolle etc. Die Anforderungen für einen Produktdatenserver und einen Host für Agentenprogramme lassen sich am Besten mit einem PC verwirklichen. Ein weiterer Vorteil ist, dass man die Software durch die Verwendung des „überall“ vorhandenen Home-PC zum billigen Einstieg in ein SmartHome nutzen und verbreiten kann. Um die Grundlage von Software für Agenten auf unterschiedlichste Zielsysteme und für viele Geräteprofile zu legen und kleinern Firmen Nischenlösungen zu gestatten, ist die Entwicklung von Software als Open Source anzustreben. Um entwickelte Geräte an den PC anzuschließen sollten die Plug&Play-fähigen Schnittstellen USB [USB00] und Firewire [FIR00] oder Ethernet bevorzugt werden.

4.5 Meilensteine

Das Vorhaben ‚FZK-Haus’ wird auf etwa 10 Jahre angelegt. Es soll mithelfen eine neue Planungs-, Bau- und Wohnkultur in Deutschland zu fördern, die von einer ausgezeichneten technischen Qualität geprägt ist, die sich in allen Bereichen an den menschlichen Wünschen und Bedürfnissen orientiert. Auch das wichtige Thema Kosten ist zu berücksichtigen, weil viele Menschen zunächst die finanzielle Hürde nehmen müssen bevor, andere Gesichtspunkte tragen.

Tabelle 4.11 listet die Meilensteine auf. Jede Entwicklungslinie verfolgt regelmäßig ein Jahresziel. Jedes Jahr soll einer der grau unterlegten, wichtigen Meilensteine erreicht werden, um damit den Projektfortschritt deutlich zu dokumentieren. Selbstverständlich lassen sich einige Entwicklungen bei Einsatz von mehr Personal beschleunigen. Ebenso ist eine Ausdehnung der Aktivitäten in andere Bereiche hinein sinnvoll, sobald entsprechende Partner und Personal vorhanden sind. Solche Themen sind beispielsweise: Baustoffverwertung und Recycling, innovative Heizungstechnik und Mikrosysteme für die Hausautomatisierung.

Jahr	Planung + Entwurf	Fertigung	Hausautomatisierung
1	Produktdatenmodell	Inbetriebnahme des 1. Abschnitts der Fabrik: Roboter + Handarbeitsplätze	Testinstallation: KONNEX-EHS / PC /Touchscreen
2	Abbildung Gebäudeplan auf Werkstoffe	Inbetriebnahme des 2. Abschnitts der Fabrik: Säge + Wendeeinrichtung	1. Szenario ’Haushaltshilfe’
3	Pflichtenheft, AVA, Kosten	**1. Musterhaus** Lieferung der FZK-Hauswände	2. Szenario ’Babysitter’
4	Editierbares VR-Modell	Inbetriebnahme des 3. Abschnitts der Fabrik: Sägeanlage für Verbundmaterialien	3. Szenario ’Alarmanlage’
5	Internettechnologie für den Bauherrn, Architekten, Fertigungsbetrieb	Inbetriebnahme des 4. Abschnitts der Fabrik: Fliesenverlegung und Sichtmauerwerk	Einheitliches Bedienkonzept für das automatisierte Haus in verschiedenen Lebenslagen
6	Produktdatenmodelle auf der Baustelle	**2. Musterhaus** Lieferung der Außenwände, Trennwände und Dachkonstruktion	Fernwartung
7	Integrales Facility Management	Inbetriebnahme des 5. Abschnitts der Fabrik: Vorfertigung der technischen Gebäudeausrüstung	Facility Management

8	Kostengünstige VR-Realisierung	Inbetriebnahme des 6. Abschnitts der Fabrik: Stahlgeländer und Treppen	Nachrüstung der Musterhäuser 1 und 2
9	„Digitales Gebäude“ / Architekturbüro 2010	**3. Musterhaus** Lieferung: Wände, Dach, geflieste Vorwandinstallationen, Stahltreppen, Geländer, Balkone	Begleitung der Nutzung + Optimierung
10	Dokumentation der Erfahrungen und Ergebnisse	Dokumentation der Erfahrungen und Ergebnisse	Dokumentation der Erfahrungen und Ergebnisse

Tab. 4.11: Meilensteine

5 Mögliche Kooperationspartner

5.1 Interne Partner

Drei Gruppen interner Partner können unterschieden werden:

1. die Verfasser dieser Studie,
2. Kollegen im IAI und
3. Kollegen anderer Institute und Einrichtungen des Forschungszentrums.

Die Verfasser der Studie decken die beschriebenen Bereiche ab. Dies sind:

1. Produktdatenmodellierung und VR-Systeme,
2. System- und Automatisierungstechnik,
3. Bussysteme und Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Im Institut für Angewandte Informatik gibt es weitere Gruppen, die Know-how besitzen, das in das FZK-Haus-Projekt einfließen könnte:

- WEB-basierte Informationssysteme:
  Die Kommunikation zwischen Architekt, Bauherr und Anbietern wird auf Internet-Technologie aufbauen.
- Workflow Management:
  Die Logistik der Arbeitsschritte und die Materiallogistik sind eng verknüpft und können nur mit entsprechenden Werkzeugen beherrscht werden.
- Bedienoberflächen für komplexe verteilte Geräte:
  Die vielfältigen Sensoren und Aktoren des SmartHomes erfordern eine vereinheitlichte Bedienoberfläche, ähnlich dem ‚Look and Feel' einer Windows-Oberfläche.
- Mikrosystem-Montage:
  Die Bundesregierung fördert das Thema SmartHome unter dem Stichwort Mikrosystemtechnik 2000+, weil im Wohnbereich viele Mikrosysteme, z. B. als Sensoren, einsetzbar sind.

Im Forschungszentrum gibt es aber noch sehr viel mehr Know-how zum Thema:

- **BTI** – Bereich Technische Infrastruktur:
  Es ist mit Sicherheit sehr nützlich, die Ideen und Erkenntnisse eines Forschungsprogramms mit Praktikern zu diskutieren. Dies sind Handwerker, Architekten und Ingenieure, die laufende Bauvorhaben betreuen.
- **ITAS** – Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse:
  Die Auswirkungen der Hausautomatisierung und von Kundendiensten via Internet sind auch unter soziologischen Gesichtspunkten zu durchleuchten.
- **IFIA** – Institut für Instrumentelle Analytik:
  Wenn elektronische Nasen die Lüftungsklappen in Automobilen schließen, um Gerüche nicht ins Wageninnere vordringen zu lassen, dann sind sie preisgünstig genug, um die Raumluftqualität zu prüfen, um daraus Stellsignale für die Lüftungsventilatoren abzuleiten.
- **IMT** – Institut für Mikrostrukturtechnik:
  Es ist denkbar Fensterkontakte als Mikrosysteme zu bauen, die alle notwendige Energie aus dem Ereignis (Öffnen bzw. Schließen des Fensters) entnehmen und die Information per Funk an eine Zentrale senden.
- **INT** – Institut für Nanotechnologie:
  Denkbar sind z. B. Projekte zu Nanostrukturen auf Glasoberflächen zur Verbesserung der Wärmedämmung, zur Verringerung der Transparenz, zur Verdunklung ohne Jalousien oder zur Nutzung der Sonnenenergie.
- **ITC-WGT** – Institut für Technische Chemie, Bereich Wasser und Geotechnologie:
  Recycling von Baumaterialien ist dort schon jetzt ein Thema.
- **ITC-ZTS** – Institut für Technische Chemie, Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme:
  Prozesse für die Herstellung von Baustoffen.
- **HPE** – Hauptabteilung Prozessdatenverarbeitung und Elektronik:
  Ein Thema könnte die Entwicklung von Gateways zwischen verschiedenen Haus-Bussystemen sein.

Ganz sicher existieren im Zentrum noch viele Projekte und Ideen, die in einem Arbeitsschwerpunkt FZK-Haus gut aufgehoben wären und das Projekt abrunden würden.

5.2 Externe Partner

Die externen Partner lassen sich in vier Gruppen teilen:

1. Produzenten von Baustoffen und Häusern,
2. Entwickler von Softwareprodukten und Maschinen für die Baubranche,
3. Forschungseinrichtungen und
4. Verbände und Normungsgremien.

Aus der enormen Zahl möglicher Partner aus der Bauindustrie seien nur einige genannt:

- **Hebel**:
  Hersteller von Porenbeton und Anbieter von massiven Fertighäusern.
- **Ytong**:
  Hersteller von Porenbeton und Anbieter von massiven Selbstbauhäusern.
- **Schwörer Haus**:
  Hersteller von Fertighäusern aus Holz, aber auch aus Massivwerkstoffen, nächstgelegenes Werk zur Herstellung von Spannbeton-Hohlplatten.
- **WeberHaus**:
  Marktführer bei Fertighäusern aus Holz.
- **Wittmer + Klee**:
  nächstgelegener Hersteller von Hohlplattendecken, Fertigkellern und Leichtbeton-Massivwänden.
- **Süba**:
  Großunternehmen mit sehr viel Erfahrung mit der Vorfertigung von Hauselementen.

Bei der Entwicklung von Software und Maschinen gehören folgende Firmen zu den ersten Adressen:

- **Lissmac**:
  Produzent von Steinsägen für die Baustelle und größerer Anlagen für die Vorfertigung.
- **Weckenmann**:
  Hersteller von Schalungsrobotern.
- **Hundegger**:
  Anbieter vollautomatischer Abbundmaschinen und der BAMTEC-Bewehrungsteppich-Schweißanlage.
- **Kuka**:
  Hersteller von Industrierobotern und Fertigungsanlagen.
- **Graphisoft, Nemetschek, mb-Software, Autodesk**:
  Hersteller von CAD-Systemen und aufbauenden Softwarewerkzeugen für die Architektur.
- **Realax**:
  Anbieter eines VR-Systems, das im FZK schon mit Erfolg eingesetzt wird.

Unter den Forschungseinrichtungen seien folgende genannt:

- **imb** – Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb (Uni Karlsruhe):
  früheres Projekt zum Mauerbau mit Robotern.
- **Ifib**– Institut für industrielle Bauproduktion (Uni Karlsruhe):
  hat ähnliche Ziele wie das FZK-Haus.
- **IBP** – Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Stuttgart):
  bearbeitet zahlreiche Fragestellungen rund um das Haus.
- **ISE** – Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme (Freiburg):
  eine der wichtigsten Adressen zum Thema Energieeinsparung.
- **Passivhaus-Institut Darmstadt**:
  anerkannte Institution für Passivhäuser.

Zu den wichtigsten Verbänden gehören:

- **GAEB** – Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen:
  zuständig für das Standard Leistungsbuch (StLB) eine ‚Schnittstelle' für Bauausschreibungen.
- **IAI**:
  Verein zur Förderung der Normung von IFC (Industry Foundation Class)
- **VDI-TGA** - VDI-Fachausschuss Technische Gebäudeausstattung
  Herausgeber der VDI-Richtlinie 3805 ‚Produktdatenaustausch in der TGA'
- **VDI-BAU** - VDI-Gesellschaft Bautechnik:
  die Arbeit erstreckt sich auf nahezu alle Gebiete des Bauwesens.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie widmet sich der Thematik des nachhaltigen Planens, Bauens und Wohnens im Informationszeitalter. Der Fokus liegt dabei, aufgrund der Aufgabengebiete und Kompetenzfelder des IAI, auf dem Beitrag der Informations- und Automatisierungstechnik. Die Studie basiert auf umfangreichen Recherchen, den Erfahrungen der Autoren und ersten Vorversuchen. Ihr Anliegen ist es, nach der Analyse des Entwicklungsstandes und der Entwicklungstrends Schlussfolgerungen für eigene F&E-Vorhaben zu ziehen.

Die allgemeinen Rahmenbedingungen für zukünftiges „Bauen und Wohnen" werden insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit präsentiert. Wichtige Fragestellungen innerhalb der **sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Dimension eines nachhaltigen „Bauens und Wohnens"** können im Rahmen dieser Studie nur angerissen werden.

Die Analyse des **Entwicklungsstands** und der **Entwicklungstendenzen** konzentriert sich auf drei Bereiche, den Einsatz der Informationstechnologie insbesondere in der Planungs- und Entwurfsphase, der automatisierten Fertigung und der Hausautomatisierung. Kernaussagen hierzu sind:

1. Der verstärkte Einsatz der Informations-, Kommunikations- und Automatisierungstechnik im Bereich „Bauen und Wohnen" birgt, wie ein Vergleich mit anderen Industriebranchen (z. B. Automobilbau) zeigt, ein großes Innovationspotenzial.
2. In der Planungs- und Entwurfsphase ist der Einsatz von computergestützten Werkzeugen Stand der Technik. Zielstellung der gegenwärtigen Entwicklungen ist die Integration der Werkzeuge und die Vernetzung der am Entwurf Beteiligten. Grundlage dafür ist ein Produktdatenmodell, ein sog. digitales Gebäudemodell, und ein Produktdatenmanagement. Die Entwicklung und Standardisierung eines solchen Produktdatenmodells sowie die Implementierung in die Softwarewerkzeuge ist ein laufender Prozess.
3. Anwendungen und Nutzen eines digitalen Gebäudemodells, das neben Entwurfsdaten, Fertigungsinformationen, Simulationsergebnisse, Messdaten usw. enthält, sind für alle Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes abzusehen. Es ist eine Grundlage für die informationstechnische Integration dieser Lebensphasen. Das Produktdatenmanagement dient vor allem der Verwaltung der Produktdaten.
4. Die Automatisierung beim Bau und der Sanierung von Wohnhäusern beschränkt sich gegenwärtig auf wenige Prozessschritte (besonders in der Produktion von Baumaterialien und vorgefertigten Bauteilen). Die Automatisierung der Arbeitsgänge des traditionellen Bauprozesses (z. B. Mauer- oder Putzroboter für den Baustelleneinsatz) muss vorerst als gescheitert angesehen werden.
5. Ein höherer Vorfertigungsgrad und Automatisierung können helfen, den Ressourcenverbrauch zu senken und die Umweltbelastungen zu verringern (z. B. geringeres Abfallaufkommen, kürzere Bauzeiten).
6. Von der Hausautomatisierung werden wichtige Beiträge für ein umweltverträgliches (z. B. ressourcensparendes Klimamanagement) und ein generationsgerechtes Wohnen (z. B. HomeCare) erwartet.
7. Die Hausautomatisierung befindet sich in einem sehr dynamischen Entwicklungsprozess. Neben den Anwendungen im Bereich Heizung und Lüftung, Installationstechnik und Hausgeräte sind die Einbindung der Kommunikationstechnik, Unterhaltungselektronik und des PC und die Anbindung an externe Datennetze als Entwicklungsschwerpunkte hinzu gekommen. Ein weitgehend offenes Problem ist die Systemintegration zur Realisierung zusätzlicher Funktionalität.

Ausgehend von der Einschätzung des Entwicklungsstandes werden die folgenden **F&E-Aktivitäten** vorgeschlagen, deren Rahmen die Vision des FZK-Hauses bildet:

1. **Entwicklung eines Produktdatenmodells für das FZK-Haus**
   In der Planung- und Entwurfsphase dient das Produktmodell dem Informationsaustausch zwischen Planern, Bauherren und Nutzern. Neben dem Austausch planungsrelevanter Daten (Geometrie, Statik, Kosten usw.) sind insbesondere die Repräsentation des Gebäudes mit Virtual Reality (VR), die Simulation des Gebäudeverhaltens (z. B. thermisches Verhalten) und von Planungsalternativen bzw. Umbauten Schritte zu einem generations- und umweltgerechten Haus. Das IAI kann hierbei seine Kompetenzen in der Produktdatenmodellierung (im Rahmen von STEP - Standard for the Exchange of Product Model Data), die Erfahrungen mit Computer Aided Design- (CAD) und VR-Tools sowie Web-basierten Informationssystemen nutzen und vertiefen. Dieser Schwerpunkt verlangt eine aktive Mitarbeit in Standardisierungsgremien für Produktdatenmodelle sowie Kooperationen mit Anbietern von Bausoftware.
2. **Konzeption und Realisierung einer Fabrik für die automatisierte Vorfertigung von Wandelementen**
   Ein neuer Automatisierungsansatz muss von einem automatisierungsgerechten Entwurf ausgehen, der die Verwendung relativ hochintegrierter, vorgefertigter Bauteile bzw. -gruppen (z. B. Wand-, Decken, Dachelemente) vorsieht. Diese Bauteile und -gruppen sollten durch das Produktmodell vollständig be-

schrieben sein und unter industriellen Bedingungen aus Halbzeugen vorgefertigt werden, wobei für die Vorfertigung Automatisierungslösungen zu entwickeln sind. Die hierfür nötigen Kompetenzen sind im IAI aufgrund von Projekten in den Bereichen Handhabungstechnik und Robotik vorhanden. Hierbei ist eine Kooperation mit Herstellern von Baumaterialien, Fertigteilen sowie Baumaschinen und Bautechnik notwendig.

3. **Komponenten für Planungs- und Entwurfswerkzeuge**
   Entwurfswerkzeuge sollen dahingehend erweitert werden, dass sie dem Planer (Architekten) die Konsequenzen seines Entwurfs für Fertigungsaufwand (einschließlich Kosten), Umweltverträglichkeit und Umbaubarkeit verdeutlichen bzw. ihn bei der Optimierung hinsichtlich dieser Kriterien unterstützen. Hiefür sind Erfahrungen aus Projekten zu CAD- und VR-Systemen vorhanden. Die Zusammenarbeit mit den Anbietern von Systemen für das Computer Aided Architectural Design (CAAD) und CAD sollte angestrebt werden.
4. **Konzepte für das Computer Integrated Manufacturing im Bauwesen**
   Die Schnittstelle zwischen Planungs- und Fertigungsphase ist informationstechnisch besser zu unterstützen. Hierbei sind Entwicklungen notwendig, die auf ein weitgehend automatisches Generieren der Informationen für die Produktionsplanung, die Steuerung der Fertigungsanlagen und die gesamte Logistik (von der Vorfertigung bis zur Baustelle) aus dem Produktmodell abzielen (CAD/CAM - Computer Aided Manufacturing, Computer Integrated Manufacturing - CIM). Hier kann auf Erfahrungen im Bereich CAM und Workflow Management zurückgegriffen werden.
5. **Integration der Hausautomatisierung in das Produktdatenmodell**
   Die Einbindung in das Produktdatenmodell hat das Ziel, bereits in der Planungsphase ein weitgehend vollständiges Modell des Gebäudeverhaltens zu erhalten, um es z. B. simulieren zu können. Zudem soll während der Projektierung, Installation und Bedienung des Hausautomatisierungssystems auf die Gebäudedaten zugegriffen werden können. Komponenten der Hausautomatisierung sollen ihre Daten im Produktmodell ablegen können.
6. **Benutzerschnittstelle und Benutzeradaption**
   Die Entwicklung einer einheitlichen multimodalen Benutzerschnittstelle soll zum einen der Bedienung der integrierten Geräte, zum anderen der Unterstützung bei der Aktivierung und Parametrierung vorkonfektionierter Funktionsbausteine, die bestimmten Szenarien zugeordnet sind, dienen. Benutzeradaption soll durch Lernfähigkeit des Hausautomatisierungssystems erreicht werden. Kompetenzen des IAI bestehen auf den Gebieten Benutzerschnittstellen, Bussysteme und verteilte Automatisierungssysteme sowie maschinelles Lernen und Computational Intelligence (CI), die aus Projekten in den Bereichen Kanalrobotik, innovative Prozessführung und CI-Methoden in der Automatisierung resultieren.

Über den thematischen Rahmen der Studie hinausgehend wäre eine Integration mit F&E-Vorhaben in den Bereichen Materialien (Dämmung, Oberflächenbehandlung mit Nanotechnologien), Baustoffrecycling, Stoffstrommanagement, ökologische Bewertung von Baumaterialien und Bauweisen, Mikrosysteme für Sensoren und Aktoren in der Haustechnik sinnvoll. Damit wird eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Thematik nachhaltiges Planen, Bauen und Wohnen möglich. Zugleich ließen sich Kompetenzen und Ressourcen von Instituten und anderen Einrichtungen des Forschungszentrums Karlsruhe (z. B. ITAS, IFIA, IMT, INT, ITC-WGT, ITC-ZTS, HPE, BTI) vernetzen und bündeln.

7 Literaturverzeichnis

[AMB98a] Ambrosch, A.: Kostengünstiges Bauen am Beispiel der Firma SÜBA. Betonwerk und Fertigteil-Technik 64 (1998) 12, S. 38-41.

[AMB98b] Ambrosch, A.; Maack, P.: Kostengünstiges Bauen durch konsequenten Einsatz von CAD-CIM-gesteuerter Vorfertigung massiver Fertigteile am Beispiel der Firma SÜBA Bau AG. In: Mayrzedt [MAY98], S. 151-158. 1998.

[AND00] Anderl, R.; Trippner, D. (Hrsg): STEP – Standard for the Exchange of Product Model Data. B. G. Teubner Stuttgart Leipzig, 2000, ISBN 3-519-06377-8.

[AND98] Andres, J.: Robotersysteme für den Wohnungsbau: Beitrag zur Automatisierung des Mauerwerksbaus und der Elektroinstallation auf Baustellen. Dissertation, Universtät Karlsruhe, Fakultät Maschinenbau, 1998.

[ATK99a] Atkin, B.: Ganzheitliches Bauen am Beispiel Japan - Produktionsgerechte Konstruktion für die Vorfertigung. Betonwerk und Fertigteil-Technik 65 (1999) 10, S. 34-43.

[ATK99b] Atkin, B.; Wing, R.: FutureHome - Manufactured Housing for Europe. In: 16th IAARC International Symposium Automation and Robotics in Construction, 1999.

[AUT00] N.N.: Modelldaten - Management im Vergleich. Automobil Industrie Special Engineering/Prototyping, 45. Jahrgang, November 2000.

[BAC00] BACnet, Building Automation Control Network, BACnet User Group Europe, http://www.big-eu.org/, www.bacnet.org.

[BAM00] Fa. Bamtec, www.bamtec.com.

[BAT00] BCI BatiBUS club, http://www.batibus.com/.

[BAU00] Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie: www.bauindustrie.de, 2000.

[BJÖ92a] Björk, B.-C.: A Unified Approach for Modelling Construction Information. Building and Environment, Vol.27, No. 2, pp. 173-194, Pergamon Press Ltd., 1992.

[BJÖ92b] Björk, B.-C.: A conceptual model of spaces, space boundaries and enclosing structures. Automation in Construction 1, pp 193-214, Elsevier Science Publishers B. V., 1992.

[BLU99] Bluetooth Protocol Architecture 1.0, http://www.bluetooth.com/ ,1999.

[BOC88] Bock, T.: Robot Oriented Design. In: Proc. 5th ISARC, Tokio (International Symposium on Robotics in Construction), S. 135-144, 1988.

[BOC89] Bock, T.: Systematic Design Analysis for (ROD) Design Synthesis Shown at the Example of a Structural Joining System Suited for Robotic Assembly. In: Proc. 6th ISARC (International Symposium on Automation and Robotics in Construction, San Francisco, 06.06.1989, S. 111-118.

[BOC90] Bock, T.: Robot Oriented Design of Variable Building Kits. In: Proc. 7th ISARC, Bristol, UK, (Intemational Symposium on Automation and Robotics in Construction), Juni 1990, Vol. 1, S. 230-236.

[BON98] Bongers, I.: Europa-Haus – Vorfertigung als Wohnungsbau der Zukunft. Betonwerk und Fertigteil-Technik 64 (1998) 4, S. 31-36.

[BRÄ97] Bräutigam, K.-H.; Brune, D.; Jeske, U.; Paschen, H; Schulz, V.: Stoffströme im Bausektor. Nachrichten Forschungszentrum Karlsruhe, 29 (1997) 2, S. 101-112.

[BRE99] Breidt, M.: Computerbasierte Projektierung komplexer Bauwerk-Sprengungen. 3. Lehrstuhlbericht 1996-1999, Lehrstuhl für Ingenieurinformatik im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum, 1999.

[BRI93] Bridgewater, C.: Principles of Design for Automation Applied to Construction Tasks. Automation in Construction 2 (1993) 1, S. 57-64.

[BTI00] Fa. Bticino LMM EHS-Solutions for Italian Market, http://www.Bticino.com.

[C&A00] C&A-Artikel: Computer und Automation, Elektronik – Intelligentes Haus, Heft 14, 2000.

[CAB97] CABA, the Continental Automated Buildings Association, http://www.caba.org/.

[CEM00a] CEMA (Consumer Electronics Manufacturers Association), http://www.cemacity.org.

[CEM00b] CE-Markt-Zeitschrift, www.ce-markt.de.

[COG98] FHG-IAO: Control it by Gestures, A Wizard of Oz experiment (Woz) with elderly people and people with special needs.

[COM97] Feustel, H. E.; Smith, B. V. (Ed.): COMIS 3.0 – User's Guide. Lawrence Berkeley National Laboratory, California, August 1997.

[COR00] Fa. Corning Cable System Homeway, http://www.homeway.de/de/products/homeway/.

[COU98] Cousineau, L.; Miura, N.: Construction Robots: The Search for New Building Technology in Japan. Reston, VA, ASCE Press, 1998.

[CTH00a] C't Heimautomation Artikel Serie- 'das persönliche Haus', 'das verkabelte Haus', 'das vernetzte Haus', Heft 22, 1999.

[CTH00b] C't-Artikelserie: 'Bussysteme in der Heimautomation', 'Kommunkation im Inhouse-Bereich', 'Middleware für Inhouse Techniken', 'Visionen der Heimautomation', Heft 15, 2000.

[DAL97] Dalacker, M.: Entwurf und Erprobung eines mobilen Roboters zur automatisierten Erstellung von Mauerwerk auf der Baustelle. Fraunhofer IRB Verlag, 1997.

[DEC00] DECT-Standard, http://www.etsi.org/.

[DEL98] Delphi '98 Umfrage: Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung Karlsruhe, 1998.

[DIC96] DICE (Esprit Project N° 22346), EHSA-Project, 1996.

[DOL00a] DOMOLOGIC Home Automation GmbH http://www.domologic.de/

[DOL00b] DOMOLOGIC JControl - Eine JavaVM für eingebettete 8-Bit-Systeme, http://www.domologic.de/.

[DOM00a] Domologic Home Automation GmbH, http://www.domologic.de/.

[DOM00b] Domotik Bosch Telecom, http://www.domotik.de/.

[DVB00] DVB Digital Video Broadcasting consortium of over 200 broadcasters, manufacturers, network operators an regulatory bodies in more than 30 countries world wide, committed to design a global standard for the delivery of digital television, http://www.dvb.org/.

[E2H00] e2-home - Kitchengate project (Electrolux und Ericsson), August 2000, www.e2-home.com, www.kitchengate.dk.

[EAS99] Eastman, C. M.: Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction. CRC Press, 1999, ISBN 0-8493-0259-5.

[EHM00] e/home: Kongress und Messe 11/2000 in Berlin, http://www.ehome-berlin.de/.

[EHS00a] EHSA Automatic Configuration Interworking within A-mode for „plug-and-play“, http://www.ehsa.com/.

[EHS00b] EHS Specification 1.3a, [EHS00a].

[EHS95] EHS-European Home Systems aus ESPRIT_EHS ESPRIT Home Bus-Projekte, http://www.ehsa.com/.

[EIB00] EIB European Installation Bus, Instabus www.eiba.com

[EIE00] Elektronik-Industrie: „EHS Technische Aspekte der HomeAutomation“, 06/2000.

[EIH00] Elektronik-Industrie: Artikelserie „Hausbus-systeme“, „Homeautomation“, „Das vernetzte Haus“, 06/2000.

[EMI00] EMIT Embedded Internet Micro Interface für Prozessoren verschiedener Hersteller, http://www.emware.com/developer/emit.

[EMW00] Fa. emWare: Weitere Produktlinien emChip, emGateway, http://www.emware.com/.

[ENB00] Fa. ENBW, Energie Baden-Württemberg AG, Powerline-Betreiber, http://www.enbw.com/.

[ENQ98] Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziel und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Deutschen Bundestages: Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung. 1998.

[ENT99] Artikel ElektronikNet Automatisieren-Dezentrale intelligente Vernetzung mit LonWorks 07-1999, www.elektroniknet.de.

[ENV98] Allen, B.; Dillon, B.: Environmental Control and Field Bussystems, 1998.

[ETH00] Ethernet IEEE 802.3, http://www.ieee.org/.

[ETS00a] ETS2 (EIBA Tool Software: Standard Inbetriebnahme Software für EIB/DOMOTIK -Systeme).

[ETS00b] ETSI-BRAN: European Telecommunications Standards Institute - BROADBAND RADIO ACCESS NETWORKS, http://www.etsi.org/.

[EUR00] N.N.: Die industrielle Fertigung von Häusern. Pressemitteilung von EUROPAHAUS, http://www.europahaus.de, 2000.

[FAA00] Fa. Faay, www.faay.nl.

[FEL98] Feldmann, K.; Koch, M.: A Mobile Robot System for Assembly Operations at Interior Finishing. In: Proc. 15th International Symposium Automation and Robotics in Construction (Poppy, W.; Bock, T., Hg.), S. 93-102, ISARC 1998.

[FIR00] FireWire (IEEE 1394), http://www.1394ta.org/.

[FOC00] GMD FOCUS „I-centric communications“, http://www.fokus.gmd.de, 2000.

[FOR95] Forsberg, J.; Graff, D.; Wernersson, W.: A Construction Robot for Autonomous Plastering of Walls and Ceilings. International Conference Intelligent Autonomous Vehicles, Helsinki, 1995.

[FRI97] Frick, O.; Knöll, K.; Neumann, F.; Weinbrenner, U.: Baukonstruktionslehre Teil 1. B. G. Teubner Verlag, Stuttgart 1997, ISBN 3-519-25250-3.

[FUT00] Futurelife Haus Demonstration, Gesellschaft von Morgen: http://www.futurelife.ch/, 2000.

[GAM00] Gambao, E.; Balaguer, C.; Gebhart, F.: Robot Assembly System for Computer-Integrated Construction. Automation in Construction 9 (2000) 5-6, S. 479-487.

[GEB96] Gebhardt, A.: Rapid Prototyping – Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag München Wien, ISBN 3-446-18240-3, 1996.

[GEN91] Gengenbach, U.; Bollinger, J.; Reger, A.: Integrated automated system for concrete rehabilitation on large building sites. Internationales Symposium Automatisierung und Roboter im Bauwesen, Stuttgart, 3.-5.Juni, 1991.

[GFU00] gfu-Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik, http://www.gfu.de.

[GPS00] GPS GmbH: Das System Biber, http://www.system-biber.de/index.htm, 2000.

[GRA93] Grabowski, H.; Anderl, R.; Polly, A.: Integriertes Produktmodell. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien; Zürich, 1. Auflage 1993, ISBN 3-410-12920-0.

[GRÜ00] Grübel, P.: Nachhaltigkeit und Innovation am Bau - ein Gegensatz? Technologiebörse Bau, 27.01.2000, Nürnberg.

[HAE96] Häfele, K.-H.: POMOS – POint based MOdelling System. In: Hoschek/Dankwort (Eds.) Reverse Engineering, B. G. Teubner Verlag Stuttgart, 1996, ISBN 3-519-02633-3.

[HAN00a] Han, C. S.; Law, K; Kunz J.: Computer Models & Methods for a Disabled Access Analysis Design Environment. CIFE Technical Report #123, Stanford University, July 2000.

[HAN00b] HANA Home Automation & Networking Association, http://www.homeautomation.org/.

[HAN99] Hanser, C.: Vollautomatische Produktion von vorgefertigten Mauerwerkelementen. Betonwerk und Fertigteil-Technik 65 (1999) 5, S. 56-63.

[HAS98] Hassenkamp, M.: Europa-Haus - es geht weiter. Betonwerk und Fertigteil-Technik 64 (1998) 8, S. 71-76.

[HAU00] Fa. Hausmatic NISCON Software für intelligentes Haus, http://www.hausmatic.de, 2000.

[HAV98] HAVi Home Audio Video Interoperability Version 1.0 1998, basiert auf Firewire, http://www.havi.org/.

[HEN96] Henricsson, O.; Streilein, A.; Grün A.: Automated 3-D Reconstruction of Buildings and Visualization of City Models. 3D-City Models Workshop, University Bonn, October 9-11, 1996.

[HEP96] FHG-IAO HEPHAISTOS Home Environment Private Help Assistant for Disabled and Elderly 1996, http://www.swt.iao.fhg.de/home/.

[HER96] Herkommer, T.; Bley, B.: CAD/CAM for the Prefabrication of Brickwork. Automation in Construction 4 (1996), S. 321-329.

[HIP99] HIPERLAN2 (High Performance European Radio LAN): ETSI-BRAN Broadband Wireless Home Networking, 1394 basiert, 25 Mbps im 5-GHz-Band und zukünftig 100 bis 150 Mbps im 17 GHz-Band, http://www.etsi.org/, 1999.

[HMS00] HomeSet, Grafikbedienstation für SmartHome, www.siemens.at, 2000.

[HOM97] FHG-IAO increase in comfort and autonomy for elderly and disabled persons HOME-AOM EG-PROJECT N°.: DE-3003, http://www.swt.iao.fhg.de/home/, 1997.

[HON00] Honeywell - Home & Building Control, http://content.honeywell.com/yourhome.

[HOR98] Horden, R.; Vogler, A.: Bauen mit Systemen. Detail - Zeitschrift für Architektur Baudetail Einrichtung (1998) 5, S. 761-775.

[HOV94] Hovestadt, L.: A4 – Digitales Bauen – Ein Modell für die weitgehende Computerunterstützung von Entwurf, Konstruktion und Betrieb von Gebäuden. Dissertation, Universität Karlsruhe (TU), Institut für Industrielle Bauproduktion, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20 Rechnerunterstützte Verfahren Bd. 120, Düsseldorf, VDI-Verlag 1994.

[HOV98a] Hovestadt, V.: Informationsgebäude – Ein Integrationsmodell für Architektur und Informationstechnologien. Dissertation, Universität Karlsruhe (TU), Institut für Industrielle Bauproduktion, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20 Rechnerunterstützte Verfahren Bd. 276, Düsseldorf, VDI-Verlag 1998, ISBN 3-18-327620-8.

[HOV98b] Hovestadt, V.; Hovestadt L.: The ARMILLA Project. Automation in Construction, Elsevier Science Publishers B. V., 1998.

[HPL00] HomePlug : HomePlug Powerline Alliance, non-profit corporation, http://www.homeplug.org/.

[HPN00] Home PNA Home Phoneline Networking Alliance, http://www.homepna.org/.

[HRF00] HomeRF: does open industry specification for wireless digital communication, Shared Wireless Access Protocol (SWAP), www.homerf.org.

[HTM00] Home Theater Magazine, http://hometheatermag.com/.

[IFC00] N.N.: Der IFC Standard der IAI jetzt erstmals in kommerziellen Produkten. Pressemitteilung, München 3. November 2000.

[IFC99a] Wix, J. (ed.): An Introduction to the International Alliance for Interoperability and the Industry Foundation Classes. Industry Foundation Classes – Release 2.0, IAI, 15.03.1999.

[IFC99b] Liebich, T. (ed.): IFC Object Model Architecture Guide. Industry Foundation Classes – Release 2.0, IAI, 15.03.1999.

[IHD00] DVB-IHDN (Digital VideoBroadband) „In Home Digital Network“, http://www.etsi.org/.

[IMS00] IMS: Projekt inHaus -NRW intelligentes Haus Duisburg, http://www.inhaus-nrw.de, 2000.

[IMS99] FHG-IMS: Systeme für eine sprechende Waschmaschine, vorgestellt auf der Reha 99, VDI Artikel 16.06.2000, http://www.ims.fhg.de/.

[INS00a] INSTABUS EIB, http://www.instabus.de/.

[INS00b] Fa. INSORS: Sprachsteuerung technischer Haushaltsgeräte für Behinderte (Easy by Voice), http://www.insors.de.

[IRD00] IrDa – Infrarot-Schnittstelle, http://www.irda.org/.

[ISO00] Architektenordner der Firma IsoBouw Dämmtechnik GmbH, Etrastraße, D-74232 Abstatt.

[JIN00] Jini, Java Intelligent Network Infrastructure Fa. SUN, www.sun.com/jini/.

[KAH99] Kahlen, H.: Integrales Facility Management - Management des ganzheitlichen Bauens. 1. Auflage, Werner Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf 1999, ISBN 3-8041-4946-4.

[KAS00] Fa. Kasto, http://www.kasto.de/.

[KNX00a] Konnex-Association, http://www.konnex-knx.org/, 2000.

[KNX00b] Konnex – Standard, http://www.domologic.de/, → Technologie → Powerline, 2000.

[KOH99] Kohler, N. (Hg.): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Berlin, Springer, 1999.

[KOR97] Kornadt, O.: Gebäude von morgen: Forschungsbericht. Düsseldorf, Beton-Verlag. 1997.

[KOT84] Kotulla, B.; Urlau-Clever, B.-P.; Kotulla, P.: Industrielles Bauen, Bd. 1 Grundlagen. Düsseldorf, Werner, 1984.

[KOT87] Kotulla, B.; Urlau-Clever, B.-P.: Industrielles Bauen, Bd. 2 Fertigteile. Ehningen bei Boeblingen, Expert Verlag. 1987.

[KOW97] Kowalczyk, W.: Ein interaktiver Modellierer für evolutionäre Produktmodelle. Dissertation, Technische Universität München, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Institut für Statik, Baumechanik und Bauinformatik, Fachbereich Bauinformatik, 1997.

[KUN95] Kuntze, H.-B.; Hirsch, U.; Jacubasch, A.; Eberle, F.; Göller, B. On the Dynamic Control of a Hydraulic Large Range Robot for Construction Applications. Automation in Construction 4 (1995) 1, S. 61-73.

[LBS00] LBS: Bauen mit Zukunft - Kostengünstig und ökologisch ins eigene Heim. LBS-Ratgeber Bd. 2, 2000.

[LBS99] LBS: Vermögensbildung im Lebenszyklus - Studien zur Wohnungs- und Vermögenspolitik. 1999.

[LCN00] LCN–Bus ISSENDORFF GmbH, http://www.lcn.de/.

[LEY95] Leyh, W.: Experiences with the Construction of a Building Assembly Robot. Automation in Construction 4 (1995) 1, S. 45-60.

[LOD00] Loderhose, B.: Marktüberblick: Erst am Anfang der Entwicklung. Gebäude Management 11/2000, November 2000, ISSN 1430-2748.

[LON00] LonMark Interoperability Association for LonWorks, http://www.lonmark.org/.

[LUH99] Luhmann, T.; Schneider, C.-T.: Digitale Ingenieurphotogrammetrie. In: Moderne Sensorik für die Vermessung, Tagung, Duisburg, 3./4.3.1999 (VDI-Gesellsch. Bautechnik, Hg.), {VDI}-Bericht 1554, Düsseldorf, VDI-Verlag, S. 49-73.

[MAA98] Maack, P.: Integrated Planning, Pre-Fabrication and Logistics. In: Proc. 15th Intern. Symp. Automation and Robotics in Construction (Poppy, W.; Bock, T., Hg.), S. 47-53. ISARC. 1998.

[MAY98] Mayrzedt, H. (Hg.): Kostensparendes Bauen im Wohnungsbau: unter dem veränderten Einfluß von Nachfrage- und Angebotsbedingungen. Düsseldorf, Werner Verlag GmbH & Co. KG, 1998.

[MES00] eHome [EHM00] - Vortag Dr. Messner, 2000.

[MHP99] DVB-MHP (Digital VideoBroadband) „Multimedia Home Platform“ Standard, Javabasiert 1999, http://www.etsi.org/.

[MOS98] mosaik, (Kundenzeitschrift der Bausparkasse Schwäbisch Hall) S. 55, Ausgabe 4, Oktober/November 1998.

[MP300] MPEG Layer-3, Fraunhofer IIS-A in Erlangen, www.iis.fhg.de.

[MP499] Entwicklung skalierbarer und kosteneffizienter Kommunikationssysteme nach MPEG-4 Elektronik Heft 13/1999.

[MU199] Schäfer, A. (Bearb.): Marktübersicht Bausoftware 2000, Teil 1 Alphanumerische Anwendungen. Broschüre und CD-ROM, 13. Ausgabe, November 1999, ISBN 3-927847-20-8.

[MU299] Schäfer, A. (Bearb.): Marktübersicht Bausoftware 2000, Teil 2 Graphische Anwendungen. Broschüre und CD-ROM, 13. Ausgabe, November 1999, ISBN 3-927847-21-6.

[MÜH99] Mühlbauer, W. M.; Brech, J.; Ring, M.: Rationalisierung und gewerkeübergreifende Vorfertigung in integrativen Planungs- und Produktionsprozessen - Eine neue Qualität im Wohnungsbau. Technischer Bericht, Demmel+Mühlbauer, Architekten, München. Veröffentlicht als Bericht des Fraunhofer IRB, Reihe Bau- und Wohnforschung, F 2369. 1999.

[MUO00] Marktübersicht Online, www.marktuebersicht.de/start/index1.html, © 2000, 2001 Marktübersicht Bausoftware.

[NN00a] N.N.: Bauen mit Systemprodukten, www.syspro-gruppe.com, 2000.

[NN00b] N.N.: SysSpro die Qualitäts-Gemeinschaft, home.t-online.de/home/betonbetz/-syspro.html, 2000.

[NN98] N. N.: Rationalisierungsmöglichkeiten und Logistikkonzepte im Mauerwerksbau durch Einsatz von mechanisierten oder automatisierten Mauerwerksmaschinen. Technischer Bericht, Bilfinger+Berger Bau-AG und Universität Stuttgart, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, 1998.

[OPN00] OpenCable Interoperability of Advanced Digital Set-Top-Box, http://www.opencable.com/ .

[OSG00] OSGI Open Service Gateway: Java-based standard between service providers and households, http://www.osgi.org/.

[POL00] Fa. Polytrax, http://www.polytrax.com/ .

[PRI97] Pritschow, G.; Kurz, J.; Zeiher, J.; Fessele, T.: Konzept für einen praxisgerechten mobilen Bauroboter zum teilautomatisierten Verputzen von Innenwänden. In: Autonome Mobile Systeme 1997, Berlin, Springer, S. 246-257, 1997.

[PRO98] Prochiner, F.; Bock, T.: Automatisierungssysteme im Wohnungsbau. Technischer Bericht, Technische Universität München, Lehrstuhl für Baurealisierung + Bauinformatik, 1998.

[REW98] ReWo: FHG-IHS-Verbundprojekt, 1995 bis 1998, Integrierte Hausysteme für Ressourcenschonendes Wohnen.

[REY99] Reymann, W.: 30 Gründe warum Betonfertigteile Zukunft haben. Betonwerk und Fertigteil-Technik 65 (1999) 5, S. 48-55.

[RIE99] Rieks, H.-J.: 3D – Geometriebestimmung in Industrieanlagen, VGB Kraftwerks-Technik 6/99.

[ROS93] Rosenfeld, Y.; Warszawski, A.; Zajicek, U.: Full-Scale Building with Interior Finishing Robot. Automation in Construction 2 (1993), S. 229-240.

[RWE00] Fa. RWE, Powerline- Betreiber, http://www.rwe.com/ .

[SAC00] Sacchi, R.; Häfele, K.-H.; Poliakoff J. F., Thomas P. D.: Improved Extraction of Planar Segments for Scanner Surfaces. 2000 IEEE Conference on Information Visualization, London, England, July 2000, ISBN 0-7695-0743-3.

[SCH96a] Schmitt, G.: Architektur mit dem Computer. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1996, ISBN 3-528-08135-X.

[SCH96b] Schweizer, M.; Spingler, J.; Wößner, J.F.: Robots for Tiling. In: Proc. 27th International Symposium Industrial Robots, Mailand 1996, S. 141-146, 1996.

[SCH98a] Schulz, Th.; Manzke, R. H.: Surface Preparation System BIBER (BEAVER). Proc. 15th Intern. Symp. Automation and Robotics in Construction (Poppy, W.; Bock, Th., Hg.), München, 1998, S. 121-125.

[SCH98b] Schwörer, J.: Was kann das Fertighaus zum preisgünstigen Wohnungsbau beitragen? In: Mayrzedt [MAY98], S. 165-176, 1998.

[SCO00] Scott Howe, A.: Designing for Automated Construction. Automation in Construction 9 (2000) 3, S. 259-276.

[SDI00] EACEM-SDI (European Association of Consumer Electronics Manufactures) „Service Diagnostic interface“, 1394 basiert.

[SET00a] Internetportal für Set-Top-Boxen, http://www.set-top-box.de.

[SET00b] N.N: Firmenschrift zu SOLAR ROOF-Dachelementen. Solar Energie-Technik GmbH, Postfach 1180, D-68801 Altlußheim.

[SIE00] Unternehmensbereich Siemens Building Technologies, www.sibt.com.

[SMH00] SmartHome, www.smarthomeusa.com.

[SOM00] Eicker, A.; Niewienda, A.; Clemens J.: SOMBRERO (Version 3.0), Benutzungshandbuch. Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie, Universität-Gesamthochschule Siegen, 2000.

[SON96] Son, J.; Skibniewski, M. J.: Integration of CAD Drawings and Construction Robot Motion Controllers. In: Proc. Robotics for Challenging Environments (Demsetz, L. A., Hg.), S. 71-78. New York, Amer. Soc. Civil Engineers, 1996.

[SPL00] Fa. Siemens-Powerline, http://www.siemens.de/plc/.

[STE00] N.N.: STEP on a Page. ISO TC184 SC4, ISO 10303 Editing Committee, Org. 89-Oct.-23, rev. 00-11-01, On-line: http://www.nist.gov/sc5/soap.

[STE97] Steinmann, F.: Modellbildung und computergestütztes Modellieren in frühen Phasen des architektonischen Entwurfs. Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Bereich Information- und Wissensverarbeitung, 1997.

[STE99] N.N.: STEP Caselib -- ProSTEP Software Toolkit -- Technical Overview – About. ProSTEP Produktdatentechnologie GmbH, 1999.

[STR96] Streich, B.; Weisgerber, W.: Computergestützter Architekturmodellbau. Birkhäuser Verlag für Architektur, Basel, Boston, Berlin, ISBN 3-7643-5363-5, 1996.

[STR98] Streilein, A.; Niederöst, M.: Reconstruction of the Disentis monastry from high resolution still video imagery with object oriented measurement routines. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXII, Part 5, Hakodate 1998, pp. 271-277.

[SÜBA00] SÜBA Bau AG: http://www.sueba.de/index_h.htm. 2000.

[TEL00] Deutsche Telecom, www.telekom.de.

[TID00] EU-Kongresse TIDE: Technology Initiative for the Integration of Disabled and Elderly People, 1995-1999.

[TUB00] Intelligentes Haus Gifhorn der TU Braunschweig, 2000, http://www.domologic.de/de/html/ihg.html.

[UMT00] UMTS, Universal Mobile Telecommunications System, www.umts.org.

[UNI00] Architektenordner der Firma UNIDEK Vertrieb GmbH, Postfach 100803, 28008 Bremen.

[UPN00] Universal Plug and Play, http://www.upnp.org/.

[USB00] USB Universal Serial Bus for the PC, http://www.usb.org/.

[VAI00] Fa. Vaillant Produktdaten-Austausch für die TGA (Technische Gebäudeausrüstung), http://www.vaillant.de/.

[VER00] Verbraucher Zentrale : Heizung, Planen, Berechnen, Modernisieren. 6. Aufl., 2000.

[VER96] Verbraucher-Zentrale NRW: Energiesparmaßnahmen an bestehenden Wohngebäuden. 1996.

[VIM98] IMS: VIMP Verteilte Fuzzy -Anwendungen für den privaten Lebensbereich (Verbundprojekt des BMBF), 1998, http://www.ims.fhg.de/.

[VOI00] Voice over Internet Protocol, http://www.voip.comhttp://www.telogy.com/.

[VOL99] Volger, K.; Laasch, E.: Haustechnik: Grundlagen, Planung, Ausführung. B. G. Teubner Verlag Stuttgart Leipzig, 1999, ISBN 3-519-15265-7.

[WAP00] WAP: Wireless Application Protocol, www.wap.com

[WAR94] Warszawski, A.; Rosenfeld, Y.: Robot for Interior-Finishing Works in Building: Feasibility Analysis. Construction Engineering and Management 120 (1994) 1, S. 132-151.

[WAR96] Warszawski, A.; Rosenfeld, Y.; Shohhet, I.: Autonomous Mapping System for an Interior Finishing Robot. J. Computing in Civil Engineering 10 (1996) 1, S. 67-77.

[WAR98] Warszawski, A.; Navon, R.: Implementation of Robotics in Building: Current Status and Future Prospects. J. Construction Engineering and Management 124 (1998) 1, S. 31-41.

[WCE00] Windows-CE, http://msdn.microsoft.com/embedded/.

[WEB98] Weber, H.; Hullmann, H.: Porenbeton Handbuch. Wiesbaden und Berlin, Bauverlag, 3. Auflage, 1998.

[WEI98] Weißert, M.: Technologische Grundlagen und Maschinenkonzepte für einen Verputzroboter zum teilautomatisierten Auftrag von Innenputz. Technischer Bericht, Landesinnungsverband Stuckateurhandwerk Baden-Württemberg und Universität Stuttgart, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, 1998.

[WEL85] Weller, K.: Industrielles Bauen, Band 1 Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. Stuttgart, W. Kohlhammer, 1985.

[WEL89] Weller, K.: Industrielles Bauen, Band 2 Industrielle Fertigung und Anwendung von Montagebauweisen aus Stahlbeton, Stahl, Holz und Entwicklung zum umweltbewussten Bauen. Stuttgart, W. Kohlhammer, 1989.

[WEN99] Wengerter, H.: Rationalisierungsmöglichkeiten im Mauerwerksbau durch eine robotergestützte Wandvorfertigungsanlage. Dissertation, TU Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen, 1999.

[WLI00] WLI Forum Wireless LAN Interoperability Forum, http://www.wlif.org/.

[X1080] X10-Bus, 50Hz oder 60Hz-Powerline, USA, http://www.smarthomeusa.com/, 1980.

[XML00] XML, Extended Markup Language, www.xml.org.